

JULIA ILLMAN
ANNA KUMPULAINEN
AKI PESOLA
JUHA VANHANEN

Merenkulun ja liikenteen hiilijalanjälki

Osa 1: Merenkulun hiilijalanjälki

Osa 2: Tie-, rata- ja meriliikenteen hiilijalanjäljet



Julia Illman, Anna Kumpulainen,
Aki Pesola, Juha Vanhanen

Merenkulun ja liikenteen hiilijalanjälki

Osa 1: Merenkulun hiilijalanjälki

Osa 2: Tie-, rata- ja meriliikenteen hiilijalanjäljet

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2012

Liikennevirasto
Helsinki 2012

Kannen kuva: Liikenneviraston kuva-arkisto

ISSN-L 1798-6656
ISSN 1798-6656
ISBN 978-952-255-164-1

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656
ISSN 1798-6664
ISBN 978-952-255-165-8

Kopijyvä Oy
Kuopio 2012

Julkaisua (myy)/saatavana
paino.kuopio@kopijyva.fi

Liikennevirasto
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelin 020 637 373

Julia Illman, Anna Kumpulainen, Aki Pesola, Juha Vanhanen: Merenkulun ja liikenteen hiilijalanjälki. Osa 1: Merenkulun hiilijalanjälki. Osa 2: Tie-, rata- ja meriliikenteen hiilijalanjäljet. Liikennevirasto, väylätekniikkaosasto. Helsinki 2012. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2012. 77 sivua ja 2 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6656, ISBN 978-952-255-164-1, ISSN 1798-6664 (pdf), ISBN 978-952-255-165-8 (pdf).

Avainsanat: elinkaaripäästöt, hiilidioksidipäästöt, hiilijalanjälki, hiilijalanjälkilaskuri, ilmastomuutos, infrastruktuurirakentaminen, merenkulku, väylänpito, päästökerroin, päästöt, liikenne, ympäristö

Tiivistelmä

Liikennevirastossa käynnistettiin vuonna 2010 hiilijalanjälkihanke, jonka tavoitteena oli selvittää liikenneinfrastruktuurien rakentamisen, käytön ja kunnossapidon hiilijalanjäljet Suomessa. Tässä raportissa esitetään tulokset hankkeen toisesta osasta, jossa laskettiin rannikon kauppamerenkulun satamien ja näihin johtavien väylien hiilijalanjäljet (raportin osa 1). Lisäksi laskettiin liikenteen hiilijalanjälki hankkeen ensimmäisessä osassa lasketuilla tie- ja ratainfrastruktuureilla sekä nyt lasketulla merenkulun infrastruktuurilla (raportin osa 2).

Hiilijalanjäljet laskettiin neljälle suomalaiselle kauppamerenkulun satamalle ja näihin johtaville väylille sadan vuoden tarkastelujaksolla. Näiden case-laskelmien ja tilastotietojen pohjalta rannikon muut talvisatamat luokiteltiin neljään luokkaan: matkustajasatamat, kappale-/yksikkötavarasatamat, irtolastisatamat ja nestebulk-satamat. Luokituksen perusteella arvioitiin koko rannikon kauppamerenkulun infrastruktuurin rakentamisen, käytön ja kunnossapidon hiilijalanjälki. Lisäksi rakennettiin laskentatyökalu, jonka avulla on mahdollista arvioida hiilijalanjäljen kannalta keskeisten suunnitteluparametrien vaikutuksia erityyppisten satamien kasvihuonekaasupäästöihin.

Case-kohteiden tarkastelussa päästöjen suurin lähde oli käytönaikainen energiankulutus: joko sataman työkonoiden kuluttama polttoaine tai sataman käyttämä sähkö. Satamien ja väylien rakentamiseen käytetyt materiaalit, niiden kuljetukset ja asennukset eivät sen sijaan vaikuta merkittävästi case-kohteiden elinkaaripäästöihin.

Suomen koko rannikon kauppamerenkulun (35 satamaa ja noin 3 230 väylä-km) hiilijalanjäljeksi sadan vuoden tarkastelujaksolla saatiin keskimäärin 150 000 tCO₂/v. Satamakohtaiset päästöt vaihtelevat välillä 1 900–15 000 tCO₂/v. Kaikkien rannikon kauppamerenkulun satamien päästöt eivät kuitenkaan jakaannu elinkaaren eri vaiheisiin samalla tavalla kuin case-kohteissa. Rakentamisen ja kunnossapidon päästöt voivat olla käyttövaiheen päästöjä suuremmat sellaisissa satamissa, joilla on suuri maa-alue käytössään suhteessa sataman kautta kulkevan liikenteen määrään.

Tämän hankkeen toisena tehtävänä oli määrittää liikenteen aiheuttamat päästöt teillä, radoilla ja meriväylillä. Liikenteen päästöjen selvittämiseksi tunnistettiin ensin päästölähteet ja luokiteltiin nämä primäärisiksi ja sekundäärisiksi. Primäärisiä päästöjä ovat teillä, radoilla ja meriväylillä liikkuvien kulkuneuvojen polttoaineenkulutuksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. Sekundäärisiä päästöjä syntyy liikennettä tukevista toiminnoista, kuten huoltoasemien tai rautatieasemien energiankäytöstä sekä pysäköimisalueiden rakentamisesta ja kunnossapidosta.

Liikenteen todettiin aiheuttavan merkittävästi enemmän päästöjä verrattuna infrastruktuuriin. Maantieinfrastruktuurin päästökseksi saatiin keskimäärin 511 000 tCO₂/v, kun tieliikenteen aiheuttamat päästöt vastaavilla tieosuuksilla ovat noin 8,3 MtCO₂/v. Rautateiden pääraiteiden infrastruktuurin aiheuttamat päästöt ovat keskimäärin 142 000 tCO₂/v ja rautatieliikenteen päästöt 315 000 tCO₂/v. Merenkulussa infrastruktuurin päästöt ovat keskimäärin 150 000 tCO₂/v ja liikenteen 2,4 MtCO₂/v. Sekundääristen päästöjen osuus liikenteen päästöistä jää pieneksi.

Julia Illman, Anna Kumpulainen, Aki Pesola, Juha Vanhanen: Sjövägarnas och trafikens kolfotspår. Trafikverket, avdelningen för infrastrukturteknik. Helsingfors 2012. Trafikverkets undersökningar och utredningar 21/2011. 77 sidor och 2 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6656, ISBN 978-952-255-164-1, ISSN 1798-6664 (pdf), ISBN 978-952-255-165-8 (pdf).

Nyckelord: byggande av infrastruktur, klimatförändring, koldioxidutsläpp, kolfotspår, kolfotspårskalkyl, livscykel utsläpp, utsläpp, miljö, utsläpps coefficient, underhåll, sjövägar, trafik

Sammanfattning

År 2010 initierade trafikverket ett kolfotspårprojekt som eftersträvade att utreda koldioxidförbruket för byggandet, användandet och uppehållet av trafikinfrastrukturen i Finland. I föreliggande rapport presenteras resultaten av projektets andra del, där kolfotspåret för hamnar och farleder för sjöfartstrafik beräknades (rapportens del 1). Ytterligare beräknades trafikens kolfotspår för väg- och järnvägsinfrastruktur vilka ingick i projektets första del samt nu kolfotspåret för sjöfartens infrastruktur (rapportens del 2).

Kolfotspåren beräknades för fyra finska sjöfartshamnar och -farled på en granskningsperiod på hundra år. Baserat på dessa case-beräkningar, samt tillgänglig statistik, har kustens övriga vinterhamnar indelats i fyra kategorier: passagerarhamnar, engodshamnar, ro-ro-hamnar samt hamnar för flytande bulklast. Baserat på kategoriseringen estimerades kolfotspåret för byggandet sjöfartsinfrastruktur samt användning och uppehåll av densamma för hela kustområdet. Ytterligare konstruerades ett kalkylverktyg för att evaluera kolfotspåret för centrala planeringsparametrars effekter av kolfotspåret i olika typer av hamnar.

Undersökningen av case fallen visade att de största utsläppen består av energianvändningen av maskiner och elförbrukningen i hamnen. Däremot visade sig att byggandet av hamnar och farled och där tillhörande materialförbrukning påverkade inte märkbart i case fallens kolutsläpp för granskningsperioden.

Kolutsläppen för samtliga sjöfartshamnar i Finland (35 hamnar och ca 3 230 km farled) för en granskningsperiod på hundra år uppgick i medeltal till 150 000 tCO₂/år. För enskilda hamn varierade utsläppen mellan 1 900 – 15 000 tCO₂/år. Fördelningen av kolutsläppen för samtliga sjöfartshamnar fördelas dock inte alltid på samma sätt som i case fallen. Utsläppen av byggande och uppehåll kan vara större än utsläppen av användning ifall hamnytan är stor i förhållande till trafikvolymen.

Den andra uppgiften i projektet var att definiera trafikens utsläpp på vägar, tågbanor samt sjöfartsled. I utredningen av trafikens utsläpp identifierades först utsläppskällorna och dessa kategoriserades i primära källor samt sekundära källor. Primära utsläpp är utsläpp genererade av bränsleförbrukningen. Sekundära utsläpp framkommer i samband med trafikens stödfunktioner såsom energiförbrukningen på bensinmackor och tågstationer samt byggandet och uppehållet av parkeringsplatser.

Trafiken visade sig att orsaka märkbart större utsläpp jämfört med dess infrastruktur. Utsläppen för landsvägsinfrastrukturen uppgick i snitt till 511 000 tCO₂/år när vägtrafikens utsläpp på motsvarande vägförbindelser uppgick till 8,3 M tCO₂/år. Järnvägens huvudspårens infrastruktur genererade utsläpp på 315 000 tCO₂/år. Utsläppen för Sjöfartens infrastruktur uppgick i medeltal till 150 000 tCO₂/år och sjötrafiken till 2,4 M tCO₂/år. De sekundära utsläppens andel av trafikens totala utsläpp förblev små.

Julia Illman, Anna Kumpulainen, Aki Pesola, Juha Vanhanen: Carbon footprint of construction, operation and maintenance of waterways and traffic. Finnish Transport Agency, Department of Infrastructure Technology. Helsinki 2012. Research reports of the Finnish Transport Agency 21/2011. 77 pages and 2 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6656, ISBN 978-952-255-164-1, ISSN 1798-6664 (pdf), ISBN 978-952-255-165-8 (pdf).

Keywords: carbon dioxide emissions, carbon footprint, carbon footprint calculator, climate change, construction of infrastructure, emission factor, emissions, environment, life-cycle emissions, waterways, maintenance, traffic

Summary

In 2010, the Finnish Transport Agency launched a project to study the carbon footprint of the construction, use and maintenance of Finland's transport network infrastructure. This report presents the results of the second phase, where the carbon footprint was calculated for the coastal ports and fairways used for merchant shipping (part 1 of this report). In addition, the carbon footprint of traffic operating on the road and rail networks and on the coastal fairways was calculated (part 2 of this report).

The carbon footprints of four Finnish coastal merchant shipping ports and the fairways leading into them were calculated during a 100-year period. Based on these four cases and statistics the rest of the coastal ports were categorised into four groups: passenger ports, unitized cargo ports, bulk ports and liquid bulk ports. Based on this categorisation the carbon footprint for the infrastructure of coastal merchant shipping was estimated. A carbon footprint tool was developed to enable the modelling of the impacts of different port and fairway planning parameters on the life-cycle emissions.

The main source of emissions in the selected cases was the energy used during the use phase: the fuel used by the machinery or the electricity consumed during the operation of the port. In the construction of the examined ports and fairways, the materials used, their transportation and installation do not have a significant impact on the life-cycle emissions.

The carbon footprint of Finland's coastal merchant shipping ports and fairways (35 ports and 3 230 km of fairways) during the 100-year period was estimated at 150 000 tCO₂/a. The emissions of ports vary between 1 900–15 000 tCO₂/a. The largest sources of emissions do not always originate from the use phase as in the selected cases. The emissions of construction and maintenance can be larger than of the use phase in ports that occupy a large area of land in relation to the amount of traffic flowing through them.

In the second part of this project, emissions caused by traffic operating on the road and rail networks and waterways were calculated. The sources of emissions were first identified and categorised into primary and secondary emissions. Primary emissions include the greenhouse gas emissions from fuels used by vehicles. Secondary emissions result from operations that enable traffic to flow such as the energy used by gas stations and railway stations or the construction and maintenance of parking areas.

It was concluded that the emissions caused by traffic are significantly larger than those of constructing, using and maintaining the transport infrastructure. The infrastructure of the road network has a carbon footprint of 511 000 tCO₂/a, while the emissions of traffic on the network are around 8,3 MtCO₂/a. The emissions of the main railway infrastructure are approximately 142 000 tCO₂/a and railway traffic has a carbon footprint of 315 000 tCO₂/a. For waterways the infrastructure emissions are 150 000 tCO₂/a and the emissions caused by traffic 2,4 MtCO₂/a. The share of secondary emissions of total emissions remains small.

Esipuhe

Liikenteen ympäristöjalanjäljen pienentäminen kuuluu Liikenneviraston keskeisiin strategiaan tavoitteisiin. Osana ympäristöjalanjäljen pienentämistä selvitetään Liikenneviraston hallinnoimien väylämuotojen hiilijalanjäljet sekä mahdollisuudet vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Hiilijalanjälkilaskennan avulla voidaan muun muassa tunnistaa suurimmat ilmastovaikutuksia aiheuttavat toiminnot ja vertailla eri liikennemuotojen ilmastovaikutuksia. Hankkeen ensimmäisessä osassa selvitettiin tien- ja radanpidon hiilijalanjäljet. Tämä hiilijalanjälkihankkeen toinen osa käsittelee merenkulun hiilijalanjälkeä sekä Liikenneviraston hallinnoimien väylämuotojen liikenteen päästöjä.

Työtä on Liikennevirastossa ohjannut ympäristö- ja turvallisuusyksikön päällikkö Arto Hovin vetämä ohjausryhmä, johon ovat kuuluneet hänen lisäkseen Anu Asikainen (VR Track Oy), Olli Holm, Susanna Koivujärvi, Jorma Kämäräinen (Trafi), Raija Merivirta, Anita Mäkinen (Trafi), Olli Penttinen, Pekka Petäjäniemi, Mikko Räsänen, Vesa Stenvall (VR-Yhtymä Oy), Tuula Säämänen, Kirsti Tarnanen-Sariola (Satamaliitto) ja Sepo Virtanen (Meritaito Oy). Tilaajan projektisihteerinä on toiminut Henna Teerihalme Sito Oy:stä. Konsulttina työssä on toiminut Gaia Consulting Oy, jossa työhön ovat osallistuneet Julia Illman, Anna Kumpulainen, Aki Pesola ja Juha Vanhanen. Työhön on pyydetty ja saatu tietoja useilta eri asiantuntijoilta.

Helsingissä kesäkuussa 2012

Liikennevirasto
Väylätekniikkaosasto
Ympäristö- ja turvallisuusyksikkö

Sisällysluettelo

OSA 1. MERENKULUN HIILIJALANJÄLKI	9
1 JOHDANTO	9
1.1 Tausta	9
1.2 Lähestymistapa	10
1.3 Toteutus	11
2 MENETELMÄT	13
2.1 Case-kohteiden hiilijalanjäljet	13
2.1.1 Tuotehiilijalanjälkistandardi PAS 2050	13
2.1.2 PAS 2050:n soveltaminen merenkulkuun	13
2.1.3 Rajaukset	14
2.1.4 Päästökertoimet	16
2.2 Rannikon kauppamerenkulun väylien ja satamien hiilijalanjälki	17
3 MERENKULUN CASE-LASKELMAT	18
3.1 Merenkulun prosessit	18
3.2 Laskennan yleiset oletukset ja rajaukset	19
3.3 Case 1: Vuosaaren satama	22
3.3.1 Lähtötiedot ja oletukset	22
3.3.2 Tulokset	23
3.4 Case 2: Länsiterminaali	25
3.4.1 Lähtötiedot ja oletukset	25
3.4.2 Tulokset	26
3.5 Case 3: Naantalin satama	28
3.5.1 Lähtötiedot ja oletukset	28
3.5.2 Tulokset	29
3.6 Case 4: Raahen satama	30
3.6.1 Lähtötiedot ja oletukset	30
3.6.2 Tulokset	31
3.7 Case-verailu	33
3.7.1 Case-laskelmien tulosten vertailu	33
3.7.2 Herkkyysanalyysi	35
3.7.3 Johtopäätökset	36
4 SUOMEN RANNIKON KAUPPAMERENKULUN HIILIJALANJÄLKI	38
4.1 Väylien ja satamien luokittelu	38
4.2 Yleistysmalli ja tulokset	38
4.3 Virhearviot	42
4.4 Hiilijalanjälkien vertailu	44
5 HIILIJALANJÄLJEN LASKENTATYÖKALU	46
5.1 Työkalun käyttötarkoitus ja oletuskäyttäjät	46
5.2 Työkalun perusratkaisu	46
5.3 Merenkulun hiilijalanjäljen laskentatyökalu	47
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	49

OSA 2 TIE-, RATA- JA MERILIIKENTEN HIILIJALANJÄLJET	51
7 JOHDANTO	51
7.1 Tausta	51
7.2 Lähestymistapa ja toteutus	51
8 LIIKENTEN PÄÄSTÖT	53
8.1 Tieliiikenteen päästöt	53
8.1.1 Primääriset päästöt: ajoneuvoliikenne	53
8.1.2 Sekundääriset päästöt: liikenneasemat	54
8.1.3 Sekundääriset päästöt: levähdys-, pysäköimis- ja lastausalueet	56
8.1.4 Sekundääriset päästöt: linja-autovarikot	57
8.2 Rautatieliikenteen päästöt	59
8.2.1 Primääriset päästöt: rautatieliikenne	59
8.2.2 Sekundääriset päästöt: rautatieasemat	61
8.2.3 Sekundääriset päästöt: rautatievarikot ja muut kiinteistöt	62
8.3 Meriliikenteen päästöt	62
8.3.1 Primääriset päästöt: meriliikenne	62
8.4 Kulkumuotojen vertailu	65
8.5 Virhearviot	67
9 SUOMEN LIIKENNEVERKON HIILIJALANJÄLKI	68
10 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	71
LÄHTEET	73
LIITTEET	
Liite 1	Laskennassa käytetyt päästökertoimet
Liite 2	Satamien ja väylien luokittelu

OSA 1. Merenkulun hiilijalanjälki

1 Johdanto

1.1 Tausta

Kotimaan liikenteen päästöt olivat vuonna 2010 noin 13,6 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenttia¹ (CO₂-ekv.) eli vajaat 20 % Suomen kaikista kasvihuonekaasupäästöistä (Tilastokeskus, 2010). Noin 90 % kotimaan liikenteen päästöistä syntyy tieliikenteessä. Rautatieliikenteen osuus päästöistä on noin prosentin verran, lentoliikenteen noin 2 % ja vesiliikenteen noin 4 % (LVM, 2010). Näihin lukuihin ei kuitenkaan ole laskettu liikenteen infrastruktuurin rakentamisen ja kunnossapidon aiheuttamia päästöjä, eikä näiden ilmastovaikutuksista ole ollut tutkittua tietoa. Tämän tiedon kartuttamiseksi Liikennevirastossa käynnistettiin vuonna 2010 hiilijalanjälkihanke, joka edistää myös viraston keskeistä strategista tavoitetta pienentää liikenteen ympäristöjalanjälkeä.

Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa tavoitteena oli tien- ja radanpidon hiilijalanjälkien laskenta. Projektissa tarkasteltiin sadan vuoden tarkastelujaksolla rakentamisen ja kunnossapidon aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä neljälle rataosuudelle, kolmelle ratapihalle ja neljälle tieosuudelle (Hagström et al., 2011). Näiden laskelmien ja tilastotietojen pohjalta arvioitiin Suomen koko rata- ja maantieverkon hiilijalanjäljet. Hankkeen toisessa vaiheessa tarkasteltiin merenkulun hiilijalanjälkeä. Selvityksen tulokset esitetään tässä raportissa. Lisäksi tämän raportin toisessa osassa käsitellään tie-, rata- ja meriväyläverkon liikenteen aiheuttamia päästöjä.

Vesiliikenteen osalta selvityksessä tarkastellaan merenkulkua. Suomen 23 talvisataman osuus vesiteitse kulkevasta tavara- ja matkustajaliikenteestä on noin 95 %. Rannikon kauppamerenkulun väylät ja satamat ovat näin ollen merkittävässä asemassa Suomen vesiliikennettä tarkasteltaessa. Sisävesiväyliä ja Saimaan syväväyliä ei ole tässä tutkimuksessa käsitelty niiden vähäisen osuuden ja käytettävissä olevien resurssien vuoksi.

Tämän selvityksen tavoitteena oli vastata seuraaviin kysymyksiin:

- Mitkä prosessit merenkulun infrastruktuurin rakentamisessa, käytössä ja kunnossapidossa aiheuttavat eniten päästöjä?
- Kuinka suuret ovat merenkulun infrastruktuurin päästöt koko Suomen tasolla?
- Miten nämä eroavat tien- ja radanpidon päästöistä?

Tämän selvityksen toteuttamisessa on pyritty noudattamaan samoja periaatteita, oletuksia ja rajoituksia kuin aiemmin julkaistussa tien- ja radanpidon hiilijalanjälkeä kos-

¹ CO₂-ekvivalentti tarkoittaa kasvihuonevaikutusta, jonka kasvihuonekaasu aiheuttaa hiilidioksidiin (CO₂) verrattuna 100 vuoden aikana. Kullakin kasvihuonekaasulla on oma kertoimensa (ilmastonlämmityspotentiaali, Global Warming Potential, GWP), jonka avulla sen kasvihuonekaasuvaikutus saatetaan yhteismitalliseksi hiilidioksidin kanssa.

kevassa selvityksessä. Yhdenmukaisuus eri liikennemuotojen tarkastelussa mahdollistaa myös tulosten vertailun. Näin ollen tässä selvityksessä viitataan usein aiempaan tutkimukseen.

1.2 Lähestymistapa

Hiilijalanjälkilaskennan keskeiset määrittely- ja lähestymistapaongelmat olivat seuraavat:

- Miten merenkulun infrastruktuurin elinkaari määritellään?
- Miten kauan sitten rakennetun infrastruktuurin päästöjä voidaan arvioida?
- Miten koko Suomen rannikon kauppamerenkulun satamien ja väylien hiilijalanjälki saadaan arvioitua perustellusti, mutta kohtuullisella vaivalla?

Merenkulun rakentamista ja kunnossapitoa lähestyttiin elinkaariajattelun näkökulmasta soveltamalla BSI:n (British Standards Institution) laatimaa PAS 2050 -standardia (BSI, 2008), joka määrittelee tuotteiden ja palveluiden kasvihuonekaasujen elinkaaripäästöjen arviointimenetelmän. Vaikka vuoden 2011 aikana julkaistiin myös muita ohjeistuksia tuotehiilijalanjälkien laskentaan (esim. GHG Protocol Product Life-cycle Standard²), valittiin PAS 2050 tämän hankkeen perustaksi, koska sitä sovellettiin myös tien- ja radanpidon hiilijalanjälkilaskennassa. Kun tarkastellaan yleisellä tasolla erilaisia ”tuotteita”, kaikkien tuotteiden elinkaari muodostuu valmistuksesta (rakentamisesta), käytöstä, kunnossapidosta ja käytöstä poistosta tai kierrätyksestä. PAS2050-standardin mukaisesti elinkaaren ajanjaksoksi on tässä laskennassa määritetty 100 vuotta. Kuitenkin, kuten tiet ja radat, meriväylät ja satamat ovat hyvin pitkäikäisiä ”tuotteita” eikä niitä voida olettaa poistettavan käytöstä edes 100 vuoden kuluttua rakentamisestaan.

Merenkulun elinkaaripäästöjen osalta oletettiin, että Suomen nykyiset satamat ja meriväylät on vastikään rakennettu sellaisiksi kuin ne tällä hetkellä ovat. Satamien ja meriväylien alkuperäisistä rakentamisvaiheista ei ole saatavilla tarkkoja tietoja, koska rakentaminen on todellisuudessa tapahtunut jo kauan sitten. Rakentamisvaiheiden päästöt perustuvat siten nykyisen infrastruktuurin sekä kunnossapitokaluston päästöihin. Kunnossapidon päästöjä arvioitiin rakentamisen valmistumisesta 100 vuotta eteenpäin. Käytöstä poistoa ei sisällytetty tarkasteluun, koska satamia ja väyliä ylläpidetään ja kunnostetaan tarpeen mukaan jopa useita satoja vuosia. Näin ollen satamien tai väylien jäännösarvoa ei ollut tarpeen käsitellä laskelmissa.

Merenkulun infrastruktuuri eroaa tie- ja rataverkosta merkittävästi, sillä merenkulkukelpoista väylää on luonnossa paljon jo valmiina, jolloin koko väylästä ei ole ollut tarpeen alun perinkään rakentaa eikä sitä tarvitse jatkuvasti pitää kunnossa. Merenkulun infrastruktuurin päästöt syntyvät pääosin satamissa. Tämä onkin otettu tarkastelun lähtökohdaksi: selvityksessä tarkastellaan satamien ja niihin johtavien väylien rakentamista, käyttöä ja kunnossapitoa.

Koska kaikista Suomen 23 talvisatamista ja niihin johtavista väylistä ei ole saatavilla riittävästi tietoa laskentaa varten, eikä näiden tietojen kerääminen olisi ollut tämän selvityksen puitteissa edes mahdollista, koko Suomen rannikon kauppamerenkulun

² Saatavilla: <http://www.ghgprotocol.org/standards/product-standard> (katsottu 3.1.2012),

väylien ja satamien hiilijalanjälki on arvioitu esimerkkitatamien ja -väylien tietojen perusteella. Haasteena on kuitenkin se, että satamat eroavat toisistaan huomattavasti. Satamien väliset erot johtuvat mm. maantieteellisestä sijainnista, liikennemääristä ja sataman tavaraliikenteen tyypistä (irtolasti, kappale- ja yksikkötavara, nestebulk). Esimerkkisatamien ja -väylien tietojen perusteella arvioituna saadaan kuitenkin riittävän tarkka suuruusluokka merenkulun päästöille, jotta niitä voidaan karkealla tasolla verrata tien- ja radanpidon päästöihin.

1.3 Toteutus

Merenkulun rakentamisen ja kunnossapidon hiilijalanjäljen määrittämisessä pyrittiin mahdollisimman yhdenmukaiseen toteutukseen tien- ja radanpidon hiilijalanjälkilaskelmien kanssa.³ Hiilijalanjälkilaskelmien toteutus on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1. Merenkulun rakentamisen ja kunnossapidon hiilijalanjäljen määrittämisprosessi tuotekohtaista elinkaarilähestymistapaa PAS 2050 noudattaen.

Tämän raportin ensimmäisen osan luvussa 2 on esitelty menetelmät merenkulun infrastruktuurin rakentamisen ja kunnossapidon hiilijalanjälkilaskennalle. Luvussa 3 on esitetty case-laskelmat ja tulosten vertailu. Luvussa 4 on esitetty hiilijalanjäljen laskennan yleistysmalli koko Suomen meriväyläverkostolle. Luvussa 5 on kuvattu kehi-

³ Hiilijalanjäljen laskennan periaate on yksinkertainen: aktiviteetin määrä kertaa päästökerroin on yhtä kuin päästöt. Käytännön toteutus on useimmiten myös suoraviivaista: aktiviteetin määränä työkonoiden ja kuljetuskaluston osalta voivat olla esimerkiksi ajatut kilometrit tai konetyötunnit sekä rakennusmateriaalien ja maa-ainesten osalta esimerkiksi kg tai m³. Päästökertoimet puolestaan valitaan tilanteeseen ja tapaukseen soveltuvuuden perusteella ja luotettavista lähteistä. Jotta aktiviteetin määrän ja päästökertoimen kertolasku tuottaisi tulokseksi CO₂-tonneja, lisäkertojaksi niiden väliin tarvitaan joissakin tapauksissa ominaiskulutuksen arvo (esim. litraa/ tunti) tai muuntokerroin (esim. koneen käyttötunnit / tonni käsiteltävää materiaalia). Suoran energiankulutuksen osalta (sähkö ja polttoaineet) tilanne on samanlainen: kulutetun polttoaineen tai sähkön määrä (l tai kWh) kertaa päästökerroin (tCO₂/l tai kWh) on yhtä kuin päästöt (tCO₂).

tetty laskentatyökalu tulevien satama- ja väylähankkeiden hiilijalanjälkien arvioimiseen. Luvussa 6 on esitetty yhteenveto ja johtopäätökset.

Kuten tien- ja radanpidon selvityksissä, merenkululle suunniteltiin ja laadittiin luonnos laskentatyökalusta, jonka avulla tulevien satama- ja väylähankkeiden hiilijalanjälkiä voidaan arvioida. Näin voidaan priorisoida toimenpiteitä ja valita uusien ja satama- ja väylähankkeiden toteutusvaihtoehtoja myös ilmastovaikutusten perusteella. Lähtökohtana käytettiin suoritettuja case-laskelmia, mutta työkalussa käyttäjä voi myös muuttaa keskeisten parametrien arvoja ja vertailla saamiaan tuloksia case-laskelmien vastaaviin päästöihin.

2 Menetelmät

2.1 Case-kohteiden hiilijalanjäljet

2.1.1 Tuotehiilijalanjälkistandardi PAS 2050

Merenkulun rakentamista ja kunnossapitoa lähestyttiin elinkaariajattelun näkökulmasta. Laskentaa lähdettiin tekemään PAS 2050 -standardin (BSI, 2008) pohjalta. PAS 2050 (Publically Available Specification) on BSI:n (British Standards Institution) laatima julkinen dokumentti, joka määrittelee tuotteiden ja palveluiden kasvihuonekaasujen elinkaaripäästöjen arviointimenetelmän. Kyseessä ei ole vielä virallinen standardi, vaan vastaus teollisuuden tarpeeseen määritellä yhtenäinen menetelmä elinkaaripäästöjen arviointiin. PAS 2050 nojautuu pitkälti elinkaarianalyysiin ja ympäristömerkkeihin ja -selosteisiin liittyviin ISO-standardeihin sekä IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) työhön ja raportteihin. PAS 2050:n kehitystyössä ovat olleet mukana BSI:n lisäksi muun muassa Carbon Trust (Iso-Britannia) ja Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs, Iso-Britannia).

PAS 2050 -arvioinnin lähtökohtana on joko niin sanotusti ”kehdosta hautaan” (koko elinkaari) tai ”kehdosta portille” (elinkaaren alusta tehtaan portille asti; tuotteen tai palvelun siirtyessä yritykseltä yritykselle). Arvioinnin pääperiaatteet ovat merkittävyys, kattavuus, yhtenäisyys, johdonmukaisuus, tarkkuus ja läpinäkyvyys. Kasvihuonekaasut, joiden CO₂-ekvivalenttipäästöt on arvioitava, sisältävät hiilidioksidin lisäksi metaanin, dityppioksidin, fluoratut hiilivedyt (HFC), fluoratut eetterit (HFE) ja joukon muita kasvihuonekaasuja. Arvioinnin tarkastelujakso on 100 vuotta.

PAS 2050 antaa tarkat ohjeet muun muassa seuraaviin elinkaaripäästöjen arviointiin liittyviin tehtäviin:

- miten tuote tai palvelu rajataan
- mitä kasvihuonekaasujen lähteitä on otettava mukaan tarkasteluun
- miten hiilen varastoituminen tuotteisiin otetaan huomioon
- miten analyysin yksikkö määritellään (tCO₂,ekv/toiminnallinen yksikkö)
- miten päästöt kohdennetaan rinnakkaisille tuotteille tai palveluille
- miten maankäytön muutokset otetaan huomioon (maataloudessa)
- miten 100 vuoden tarkastelujakson aikana tapahtuvat päästöt painotetaan
- miten käytöstä poiston ja kierrätyksen päästöt otetaan huomioon

PAS 2050 edellyttää muun muassa, että energialähteiden päästökertoimet ovat elinkaaripäästökertoimia. Se tarkoittaa, että esimerkiksi dieselin päästökertoimen on sisällettävä loppukäytön (polton) lisäksi muun muassa öljyn etsintä, öljynporausta, kuljetukset ja jalostus. Vastaava vaatimus pätee kaikille muillekin energialähteille ja raaka-aineille. Kirjaimellisesti sovellettuna PAS 2050 on erittäin vaativa ja kattava tuotteiden ja palveluiden elinkaaripäästöjen arviointimenetelmä.

2.1.2 PAS 2050:n soveltaminen merenkulkuun

Kuten tien- ja radanpidon hiilijalanjälkiselvityksessä, tässä hankkeen toisessa vaiheessa käytettiin myös case-laskelmiin perustuvaa lähestymistä. Niitä käytettiin sekä koko meriväyläverkoston hiilijalanjäljen mallintamiseen ja arvioimiseen että laskenta-

Infrastruktuuri. Merkittävä rajausta oli ottaa huomioon tarkastelussa ainoastaan itse satama- ja väyläinfrastruktuurin rakentamiseen ja ylläpitoon suoraan liittyvät toiminnot. Esimerkiksi satamien logistiikkakeskusten ja muiden satamarakennusten rakentaminen rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Rakennusten käyttö vastaa noin 80 % rakennuksen koko elinkaaren päästöistä, itse rakentaminen vain 20 %, joten rajausta ei vaikuta merkittävästi rakennusten elinkaaripäästöihin (Lane, 2007). Rakennusten kuluttama energia satama-alueella on kuitenkin otettu huomioon osana koko sataman sähkön- ja lämmönkulutusta. Satamien työkalujen valmistaminen rajattiin myös laskennan ulkopuolelle, sillä näidenkin osalta suurimmat vaikutukset liittyvät käyttövaiheen polttoaineen tai sähkön kulutukseen, jotka on otettu huomioon laskennassa.

Satama-alueen tiet ja rautatiet rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Satamaliiton jäsen-satamien tilastojen mukaan merisatamissa on yhteensä 215 km rautatieraitteita (Satamaliitto, 2010). Näiden rakenne on paljon kevyempi kuin valtion rataverkolla, sillä alusrakenteita ei rakenneta yhtä järeiksi ja kiskot asennetaan usein suoraan asfaltoidulle satamakentälle ilman pölkkyjä (Asikainen, 2011). Satamaraiteiden osuudeksi koko merenkulun infrastruktuurin rakentamisesta voidaan aiemman tutkimuksen perusteella arvioida alle 1 % (Hagström et al., 2011). Satama-alueella olevien teiden yhteispituutta ei ole tilastoitu, mutta tiet lasketaan usein osaksi satamakenttää ja tämän ulkopuolelle jäävän tien osuus voidaan olettaa hyvin pieneksi. Esimerkiksi Vuosaaren satamassa pelkkää satama-alueen käytössä olevaa tietä, joka ei ole osa satamakentän rakenteita, on vain 200 metriä (Holm, 2011). Satamateiden vaikutuksen voidaan näin ollen olettaa olevan hyvin pieni suhteessa sataman kokonaispäästöihin.

Maankäyttö. Maankäytön muutosten vaikutuksia ei sisällytetty laskelmiin, koska niitä on vaikea arvioida perustellusti olemassa olevien satamien osalta. PAS 2050 ei myöskään tarjoa yksiselitteistä ohjeistusta laskelmien tekoon. Maankäytön muutoksen merkitystä voidaan arvioida olettamalla, että satama rakennetaan kasvavan metsän tilalle. Tässä tarkastelussa keskitytään kauppamerenkulun rannikkoväylien ja -satamien päästöihin. Rannikon metsien osuus koko Suomen metsäpinta-alasta on noin 4 %⁴, jolloin satamarakentamisen vaikutukset maankäytön muutoksen näkökulmasta jäävät valtakunnan tasolla pieneksi. Teitä ja rautateitä tarkasteltaessa todettiin, että maankäytön muutokset väyliä rakennettaessa ja niiden käytön aikana muodostavat väylän hiilijalanjäljestä noin viidenneksen 60 vuoden tarkastelujaksolla (Botniabanan Ab, 2010). Satamien rakentamisen vaatima pinta-ala suhteessa teiden ja rautateiden rakentamisen vaatimiin pinta-aloihin on kuitenkin erittäin pieni: kaiken kaikkiaan tieverkon vaatima pinta-ala on yli 78 000 ha⁵, rataverkon rautateiden vaatima pinta-ala on noin 5 700 ha⁶, kun taas Satamaliiton jäsensatamien yhteenlaskettu maa-alue on noin 3 200 ha (Satamaliitto, 2010). Näin ollen voidaan todeta, että maankäytön muutoksen vaikutukset valtakunnan tasolla satamarakentamisessa ovat teitä ja rautateitä selvästi pienemmät.

Merenkulun prosessit ja komponentit. Satamien ja väylien rakentaminen ja kunnossapito on materiaali- ja energiasuhteellista toimintaa. Tällaisessa tapauksessa vähän

⁴Suomen metsäpinta-alaksi vuonna 2010 arvioitiin noin 20,1 miljoonaa hehtaaria (<http://www.metla.fi/suomen-metsat/index.htm>) ja rannikon metsien pinta-alaksi 0,81 miljoonaa hehtaaria vuonna 2008 (<http://www.metsakeskus.fi/web/fin/metsakeskukset/Rannikko/rannikon+metsat/>)

⁵ Olettaen teiden yhteispituudeksi 78 160 km, keskimääräiseksi leveydeksi 10 m (Liikennevirasto, 2011f).

⁶ Olettaen rautateiden yhteispituudeksi 5 289 km, useampiraiteisten ratojen leveydeksi 18 m, yksiraiteisten leveydeksi 10 m (Liikennevirasto, 2011g)

materiaaleja ja energiaa kuluttavien toimintojen merkitys hiilijalanjäljen kannalta jää vähäiseksi. Tarkastelun ulkopuolelle rajattiinkin kaikki ”toimistopöydän ääressä” tapahtuvat asiat (suunnittelu, hallinto, viestintä jne.). Samoin kaikki muutkin ihmisvoimin tehtävät asiat sivuutettiin laskelmissa (esimerkiksi laitureiden betonielementtien raudoitustyöt ja satamien kuntotarkastukset).

Satamien ja väylien *käytöstä poisto* rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, koska näitä ylläpidetään ja kunnostetaan tarpeen mukaan jopa useita satoja vuosia. Toisin sanoen sadan vuoden tarkastelujakso ei suurella todennäköisyydellä kata sataman tai väylän koko elinkaarta.

Kuljetus-, työ- ja kunnossapitokaluston valmistus rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, sillä kaluston hyödyntämisen vaikutuksia koko elinkaarelta ei voida kohdentaa pelkästään tarkasteltavana olevaan hankkeeseen. Satamissa käytössä olevien työkoneiden osalta on otettu huomioon käytön aikainen sähkön ja polttoaineen kulutus.

Tunnistettaessa ja ryhmiteltäessä merenkulun prosesseja alan asiantuntijoiden kanssa voitiin lisäksi jo ennakolta todeta tiettyjen prosessien ja osien olevan merkityksettömiä hiilijalanjäljen kannalta. Tällaisia olivat esimerkiksi majakat. Meriliikenteen luonnonvarojen kulutusta koskevassa tutkimuksessa todettiin, että majakoiden rakenteet vaihtelevat paljon majakasta riippuen (Lindqvist et al., 2005). Tällöin hiilijalanjälkilaskenta olisi pitänyt tehdä kullekin majakalle erikseen. Lisäksi on huomattava, että majakoiden lukumäärä on suhteellisen pieni, joten näiden merkitys kokonaispäästöjen kannalta on vähäinen.

Laitureiden rakentamisessa käytetään jonkin verran pientä kalustoa kuten hitsauskoneita (Talvinen, 2009). Niiden vaikutus kokonaisenergiankäyttöön on hyvin pieni, eikä pienen kaluston käytöstä ollut luotettavaa lähtöaineistoa. Tämän vuoksi pienen kaluston käyttö rajattiin laskelmien ulkopuolelle.

2.1.4 Päästökertoimet

Laskennassa käytetyt päästökertoimet kerättiin useista lähteistä. Kertoimet lähteineen on esitetty liitteessä 1. Useat etenkin kuljetuskaluston, työkoneiden ja energiantuotannon ja sitä kautta myös materiaalien päästökertoimet muuttuvat 100 vuoden tarkastelujakson aikana. Tässä tarkastelussa ei tehty skenaario-oletuksia päästökertoimien muutoksista, vaan kertoimet oletettiin vakioiksi koko tarkastelujakson aikana. Myös materiaalien valmistuksen päästökertoimet sisältävät epävarmuutta, joka syntyy muun muassa eroista eri alueiden sähköntuotannon päästökertoimissa ja joissakin tapauksissa lähtötietojen epätasmuellisyydestä. Laskennassa käytettiin sähkön ja kaukolämmön päästökertoimina samoja Suomen keskimääristä sähkön- ja kaukolämmöntuotantoa kuvaavia viiden vuoden keskiarvopäästökertoimia (2004–2008), joita oli käytetty myös tien- ja radanpidon hiilijalanjälkilaskennassa. Muutenkin laskennassa käytettiin mahdollisimman pitkälti samoja kertoimia kuin hankkeen ensimmäisessä osassa, jotta tulosten vertailukelpoisuus olisi mahdollisimman hyvä.

2.2 Rannikon kauppamerenkulun väylien ja satamien hiilijalanjälki

Koko rannikon kauppamerenkulun väylien ja satamien hiilijalanjäljen arvioimiseksi valittiin kolmivaiheinen, yksittäistapauksista yleiseen -menetelmä:

- 1) Yksittäisiä satamia valittiin edustamaan mahdollisimman monipuolisesti erityyppisiä satamia. Kullekin tapaukselle laskettiin elinkaaritarkasteluun perustuva ”tuotehiilijalanjälki” (case-laskelmat).
- 2) Satamat luokiteltiin koko rannikon kauppamerenkulun väylien ja satamien hiilijalanjäljen arvioimisen kannalta tarkoituksenmukaisella tavalla case-laskelmien ja olemassa olevien tilastotietojen pohjalta.
- 3) Case-laskelmien tulokset yleistettiin kaikkiin rannikon kauppamerenkulun satamiin ja väyliin.

Hankkeen ohjausryhmän asiantuntijat valitsivat case-kohteet hankkeen alussa. Keskeiseksi kriteeriksi muodostui lähtötietojen saatavuus, minkä vuoksi case-laskelmiin valittiin kaksi aiemmassa MeriMIPS-tutkimuksessa tarkasteltua satamaa (Länsiterminali ja siihen johtava 25 km pituinen väylä ja Naantalin satama ja siihen johtava 127 km pituinen väylä). Lisäksi muiksi case-kohteiksi valittiin Raahen satama ja siihen johtava 26 km väylä sekä vuonna 2008 valmistunut Vuosaaren satama ja siihen johtava 32 km väylä. Valituille satamille suoritettiin case-laskelmat edellä esitetyn (luku 2.1) menetelmän mukaisesti. Laskelmissa Länsiterminali edusti matkustajasatamia, Naantali nestebulk-satamia, Raahen irtolastisatamia ja Vuosaari kappale-/yksikkötavarasatamia.

Satamat luokiteltiin case-laskelmien jälkeen mahdollisimman yksinkertaisella tavalla, koska case-laskelmien tulokset ja niihin liittyvät epävarmuudet eivät tukeneet moniulotteista tai monimutkaista luokittelua. Satamat luokiteltiin niiden läpi kulkevien henkilö- ja tavaravirtojen mukaisesti matkustajasatamiin ja tavararyhmälajeittain irtolasti-, nestebulk- ja kappale-/yksikkötavarasatamiin. Luokittelu tehtiin asiantuntija-arviona, joka perustui Liikenneviraston tilastoihin koti- ja ulkomaan henkilö- ja tavaravirroista vuodelta 2010.

3 Merenkulun case-laskelmat

Laivaliikenteen päästöistä on olemassa tutkittua tietoa. Lisäksi joidenkin yksittäisten satamien osalta on laskettu käytönaikaisia, sataman omien ajoneuvojen ja työkoneiden päästöjä (esim. Turun Satama, 2007; Los Angeles, 2005). Kuitenkaan merenkulun infrastruktuurin rakentamisen ja kunnossapidon aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä ei tämän tutkimuksen yhteydessä löydetty aikaisemmin julkaistua tietoa. Näiden päästöjen tutkimiseksi valittiin tutkimusmenetelmäksi case-laskelmien tekeminen neljässä eri kohteessa. Case-kohteiden valintaa on käsitelty luvussa 2.2 ja niihin liittyviä laskelmia on esitelty luvuissa 3.3–3.6.

3.1 Merenkulun prosessit

Merenkulun prosessit jaettiin neljään pääryhmään elinkaaren mukaisesti: *rakentaminen, käyttö, kunnossapito* sekä *käytöstä poisto*. Nämä ovat yhdenmukaiset tien- ja radanpidon laskelmissa käytettyjen pääryhmien kanssa. Pääryhmät jaettiin edelleen kuvan 2 esittämällä tavalla. Tarkasteluun otettiin mukaan vain sellaiset prosessit, joilla tiedettiin tai voitiin etukäteen olettaa olevan merkitystä kokonaishiilijalanjäljen muodostumisessa.

RAKENTAMINEN	KÄYTTÖ	KUNNOSSAPITO	KÄYTÖSTÄ POISTO
Väylän ruoppaus	Työkoneet	Kunnossapito	Purkutyöt
Maanrakennus	Sähkönkulutus	Ylläpitoinvestoinnit	Kierrätys ja poltto
Satamakentän rakennus	Lämmönkulutus		Loppusijoitus
Laiturit			
Turvallitteet			

Kuva 2. Merenkulun prosessijaottelu elinkaaren yli (harmaalla merkityt prosessit rajattiin laskelmien ulkopuolelle).

Rakentaminen

Väylän ruoppaus -prosessi sisältää vain satamaan johtavan väylän ruoppauksen. Prosessissa on otettu huomioon tarvittavat ruoppaukset, joilla on saavutettu väylän nykyinen syvyys.

Maanrakennus -prosessissa on otettu huomioon kaikki materiaalit, kuljetukset ja työkonet liittyen sataman maa-alueen ja satama-altaan rakentamiseen. Tähän sisältyvät satama-altaan ruoppaukset, tributyylitina-pitoisten (TBT) sedimenttien ruoppaukset, vedenalaiset louhinnat, maantäytöt ja pengerrykset. Myös Vuosaaren sataman rakentamisen yhteydessä tehty massastabilointi on laskettu osaksi tätä prosessia.

Satamakentän rakennus -prosessiin sisältyvät satamakentän päällysrakenteen tukikerroksen sekä asfaltoidun pinnan rakentamisen materiaalit, näiden kuljetukset ja käsittelyyn käytettävät työkonet. Myös Vuosaaren meluseinä ja valaisinpylväät on otettu tässä prosessissa huomioon.

Laiturit-prosessiin sisältyvät materiaalit, näiden kuljetukset ja käsittelyyn käytettävät työkonet, joita tarvitaan erilaisten laiturityyppien rakentamisessa. Prosessiin kuuluvat tarpeelliset paalutukset, reunapalkkien valamiset, eroosiolaatat, teräsrampit, liukuvalukohteet, raudoitteet, laiturialueen ruoppaukset, louhinnat, maantäytöt, syvätiivistykset sekä teräspontit.

Turvallaitteet-prosessissa on otettu huomioon reuna- ja tutkamerkit, poijut, poijuviitat sekä turvallaitteiden perustukset sekä ankkurit.

Käyttö

Satamien ja meriväylien käyttöön kuuluvat satamassa käytössä olevien työkonien kuluttama polttoaine, satamassa kulutettu sähkö sekä satamarakennusten lämmitykseen kuluva energia. Osa satamassa kulutetusta sähköstä voi joissain tapauksissa sisältää myös työkonien sisältämää sähköä, mutta tätä ei lähtötiedoista johtuen voitu erotella hienojakoisemmin.

Kunnossapito

Kunnossapidon pääprosessi on jaettu kahteen alaprosessiin. *Kunnossapito* kattaa väylällä tehtävät turvallaitteiden korjaukset sekä satamakentän talvihoidon. *Ylläpitoinvestoinnit* kattavat harvemmin toteutettavat kunnossapitotoimet. Väylien osalta tähän prosessiin sisältyvät kunnossapitoruoppaukset, satamien osalta taas kaikkien materiaalien ja komponenttien uusimiset, joiden tiheys määräytyy kunkin materiaalin ja komponentin eliniän keston mukaisesti. Esimerkiksi laitureiden teräsrakenteille on oletettu 50 vuoden elinikä (Talvinen, 2009), joten 100 vuoden tarkastelujakson aikana nämä uusitaan kaksi kertaa.

3.2 Laskennan yleiset oletukset ja rajaukset

Laskennan yhdenmukaistamiseksi tehtiin oletuksia, joita noudatettiin kaikissa neljässä case-tapauksessa. Ellei muuta mainita, seuraavana esiteltyt oletukset on otettu suoraan hankkeen ensimmäisestä osasta (Hagström et al., 2011) tai tarkistettu Liikenneviraston asiantuntijan kanssa (Holm, 2011).

Kuljetusetäisyydet. Materiaalien ja massojen kuljetusmatkoista ei ole dokumentoitua tietoa. Niitä on mahdotonta arvioida tarkasti, etenkin, kun rakentaminen on tapahtunut monia vuosia tai vuosikymmeniä sitten. Vuonna 2008 valmistuneen Vuosaaren sataman osalta rakennusurakasta ja materiaalien kuljetusetäisyyksistä oli jonkin verran tietoa saatavilla, mutta tämänkin osalta etäisyyksiä jouduttiin osittain arvioimaan. Ellei case-kohteesta ollut tarkkaa tietoa saatavilla, oletettiin satamarakennuspaikalle tuotavien massojen ja materiaalien keskimääräiseksi kuljetusetäisyydeksi 50 km. Samaa etäisyyttä on käytetty myös MeriMIPS-tutkimuksen laskennan oletuksena (Lindqvist et al., 2005). Poikkeuksena tästä kaikissa case-kohteissa oletettiin, että laiturirakenteissa käytettävät teräspaalut hankittiin Rautaruukin Raahen tehtaalta perustuen Vuosaaren sataman rakentamista koskeviin tietoihin. Yleisesti oletettiin, että ruoppauksista ja louhinnoista saadut materiaalit hyödynnettiin satamien ja laiturien maantäytöissä. Näiden kuljetusten arvioimiseksi ruoppauspaikan ja sataman väliseksi etäisyydeksi oletettiin 50 % ruoppauspaikan ja läjitysalueen välisestä etäisyydestä. Louhintapaikan ja sataman väliseksi etäisyydeksi oletettiin aina 100 m (Holm, 2011). Väylälle asennettavien turvallaitteiden kuljetuksissa käytetään väyläaluksia ja

näiden kulutus laskettiin Vuosaaren satamalle. Väyläalusten kuljetusten osuus turvalaitteiden päästöistä jäi kuitenkin niin pieneksi, että ne päätettiin lopulta rajata laskennan ulkopuolelle.

Kuljetuskalusto. Satamarakennuspaikalle tuotavien materiaalien (esimerkiksi betoni, asfaltti, valaisinpylväät ja teräspaalut) kuljetuksiin oletettiin käytettävän täysperävaunuyhdistelmää, jonka kantavuus on 40 tonnia. Massat, kuten louhe, sora ja murske, oletettiin tuotavan satamarakennuspaikalle maansiirtoautolla, jonka kantavuus on 19 tonnia. Prosessikohtaisesti oletettiin, että materiaaleja tai massoja rakennuspaikalle tuova auto on täyteen lastattu ja sama auto poistuu rakennuspaikalta ilman lastia. Näitä oletuksia käyttämällä kuljetuksissa voitiin hyödyntää valmiita, luotettavia päästökertoimia. Samasta syystä oletettiin dumpperin osalta, että se käsittelee jatkuvasti enimmäiskuormaa, joka vastaa tilavuudeltaan 15 kuutiota. Ruoppausmassojen kuljetukseen käytettävän proomun enimmäiskuorman tilavuudeksi oletettiin 500 kuutiota: väylätöissä käytettyjen proomujen tilavuus vaihtelee noin 300–700 m³ välillä (Holm, 2011). Arkkulaitureiden betonielementtien kuljetus toteutetaan uittamalla elementit hinaajaa apuna käyttäen niiden valmistamiseen sopivalta telakka-alueelta satama-alueelle (Talvinen, 2009). Hinaajan vetokyvvyksi käytettiin Terramare Oy:n kalustoon perustuvaa arviota 6,7 tonnia (Terramare Oy, 2011).

Turvalaitteet ja laiturit. Koska kaikista komponenteista ei ollut saatavilla tarkkoja tietoja, jouduttiin tekemään oletuksia, jotta niiden vaikutukset voitiin ottaa huomioon. Joidenkin satamien turvalaitteista tiedettiin kappalemäärät. Ellei muuta tietoa ollut saatavilla, turvalaitteiden materiaalit ja painot sekä niiden asennukseen vaadittavien perustusten ja ankkureiden materiaalimäärät laskettiin seuraavien oletusten mukaisesti (kaikki perustuvat lähteeseen Holm, 2011):

- jääpoiju 3,5 t (teräs)
- poijuviitta 80 kg (polyeteeni tai PVC-muovi)
- reuna-/tutkamerkki 40 t (teräs)
- maalle sijoitettava kiinteä turvamerkki vaatii 3 m³ betonia
- poijuviitan betoniankkurit 1 t
- poijujen betoniankkurit 15 t
- laitureille johtavat teräksiset rampit 200 t/kappale.

Kunnossapito. Koska väylä- ja satamakohtaista tietoa ei ollut saatavilla väylän turvalaitteiden korjauksista tai satamakentän talvihoidosta, näiden aiheuttamat päästövaikutukset jouduttiin arvioimaan. Meritaito Oy:ltä saatiin tietoa heidän koko vuoden 2010 aikana suorittamistaan turvalaitteiden korjauksista. Näille korjauksille laskettiin päästöt, jotka jaettiin tasaisesti koko rannikon kauppamerenkulun väylille. Laskelmissa otettiin huomioon, että n. 80 % Meritaito Oy:n työstä kohdistuu rannikon kauppamerenkulunväylille (Holm, 2011). Laskelmissa oletettiin, että korjaustarve väyläkilometriä kohden on sama kaikilla väylillä. Todellisuudessa näin ei välttämättä ole, mutta tämä oletus antaa riittävän tarkan arvion päästöjen suuruusluokasta tämän selvityksen tarpeisiin. Case-kohteiden päästöt korjausten osalta laskettiin kertomalla korjauspäästöt case-kohteen väylän pituudella. Satamakentän talvihoidon osalta oletettiin, että suolaus- ja hiekoitustarve satamakentällä vastaa valtatie talvihoidon tarpeita pinta-alayksikköä kohden (Holm, 2011). Talvihoidon materiaalien ja siihen käytettävän kaluston polttoaineenkulutukset arvioitiin perustuen Hanko–Skogby- valtatie kuluttamien suolan, hiekan ja dieselin määriin tieneliötä kohden (Hagström et al., 2011). Satamissa tehdään muutakin kunnossapittoa turvalaitteiden korjausten ja kentän talvihoidon lisäksi, mutta näistä ei ollut kattavasti tietoa saatavilla. Asiantun-

tijoiden arvioiden mukaan korjaukset ja talvihoito kattavat pääosan kunnossapidon materiaaleista ja energiankulutuksesta (Holm, 2011; Virtanen, 2011). Ylläpitoinvestointien osalta oletettiin kaikille materiaaleille ja komponenteille 50 vuoden elinikä (Lindqvist et al., 2005) ja kunnostusruoppausten tarpeeksi koko väyläpituuden ruoppaus kerran 20 vuoden aikana (Holm, 2011). Todellisuudessa kunnostusruoppaustarve on väyläkohtainen, eikä ruoppausta ei ole välttämättä tarpeellista tehdä koko väylän pituudelta. Väylän pituus oli kuitenkin luontevin muuttuja, johon kunnostusruoppaus voitiin sitoa.

Massaan sidottu kuljetustarve. Kuten muidenkin materiaalien, myös teräspaalujen, teräsponttien, raudoitteiden, teräsramppien ja turvalaitteiden kuljetukset sidottiin laskennassa niiden massaan, vaikka täsmällisempää olisi niiden tapauksessa arvioida kuljetustarve tilavuuden perusteella. Tämä tarkastelu olisi kuitenkin vaatinut tarkempia tietoja kappaleiden mitoista. Materiaalien valmistus on useimmiten merkittävän päästölähde, jolloin kuljetusten vaikutukset kokonaisuudesta jäävät vähäiseksi. Näistä syistä johtuen tilavuustarkastelua ei nähty välttämättömäksi.

Työkoneet. Prosesseissa käytettäviä työkoneita ovat kuokkaruoppaaja, imuruoppaaja, ympäristökauhalla varustettu ruoppaaja, syvätiivistykseen soveltuva nosturi, kuormaaja, kaivinkone, dumpperi, tavallinen nosturi, uiva nosturi, maajyrä, asfalttijyrä, asfaltinlevittäjä, paalutuslautta, poralautta, pyörintäsäiliöpumppu sekä liukuvalukalusto. Työkoneiden aiheuttamat päästöt laskettiin käsiteltävän massan tai tilavuuden perusteella, riippuen työkoneen käyttötarkoituksesta (siirtely, raivaus, nostaminen jne.). Vesirakentamisen kaluston (ruoppaajat, lautat ja liukuvalukalusto) tiedot pohjautuvat Terramare Oy:n arvioihin kaluston keskimääräisistä polttoaineenkulutuksista (Yletyinen, 2011). Laskennassa ruoppaajien polttoaineenkulutus on laskettu kolmen erilaisen ruoppaajan kulutusarvioiden keskiarvona. Syvätiivistyskaluston polttoaineenkulutus perustuu Sjöman Helsingin Nosturit Oy:ltä saatuihin arvioihin (Marttila, 2011). Maa-ainesten käsittelyyn oletettiin käytettävän tavanomaista maanrakennuskalustoa eli kuormaajia, kaivinkoneita sekä dumppereita. Laskelmissa oletettiin, että kaivinkonetta käytetään massojen paikalliseen siirtelyyn, kuormaajaa massojen nosteluun ajoneuvoista/ajoneuvoihin ja dumpperia massojen siirtelyyn ympäri rakennuspaikkaa. Tarkkoja tietoja siitä, miten materiaalien käsittely jakautuu näiden kesken, ei ollut. Oletettiin, että maa-ainesten käsittely jakautuu tasaisesti kuormaajan ja kaivinkoneen kesken. Dumpperin ajosuoritteen puolestaan arvioitiin olevan 1 % maansiirtoauton ajosuoritteesta. Laskelmissa oletettiin, että massat kuljetetaan ensin rakennuspaikalle maansiirtoautolla. Rakennuspaikalla samoja massoja siirrellään dumpperilla, mutta huomattavasti lyhyempiä matkoja (Hagström et al., 2011).

Betonin valamisessa oletettiin käytettävän pyörintäsäiliöpumppua. Lisäksi laitureiden liukuvalukohteissa tarvittavan liukuvalukaluston päästöt arvioitiin Terramare Oy:n kaluston polttoaineenkulutusarvioiden perusteella. Muiden käytettävien työkoneiden eli nostureiden ja muiden ajettavien dieseltyökoneiden oletettiin olevan päästöiltään VTT:n LIPASTO-tietokannan (VTT, 2009) mukaisia. Näiden koneiden päästöjen määrittämiseksi arvioitiin rakentamisen vaatima käyttöaika, jonka oletettiin riippuvan rakennusmateriaalien määrästä.

Kaikkien työkoneiden oletettiin käyttävän joko dieseliä tai kevyttä polttoöljyä ja kuljetusajoneuvojen dieseliä tai moottoripolttoöljyä. Näiden päästökertoimet eivät juuri eroa toisistaan. Koska täsmällistä tietoa työkoneiden ja ajoneuvojen polttoaineesta ei ollut saatavilla, laskennassa käytettiin dieselin päästökerrointa.

Maa-aineksen laatu. Joidenkin työkoneiden polttoaineenkulutus on verrannollinen käsiteltävän maa-aineksen laatuun. Kaikissa case-laskelmissa maa-aineksen laaduksi oletettiin neliportaisessa asteikossa louheen osalta toiseksi vaikein maa-aines (*melko vaikea*, ks. liite 1) ja murskeen tai soran osalta toiseksi helpoin maa-aines (*melko helppo*, ks. liite 1)⁷ (Strippel, 2001).

Materiaalihävikki. Prosessien materiaalihävikin oletettiin olevan niin pientä, että se rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Hävikkiä syntyy esimerkiksi hienojakoisen maa-aineksen (kuten hiekan) kuormaamisessa ja murskeen valmistuksessa.

Varovaisuusperiaate lähtötietojen päällekkäisyyksissä. Murskeen ja soran valmistuksessa sekä joidenkin työkoneiden käytössä on päällekkäisyyttä ainakin kuljetuksissa ja käsittelyssä. Tämä johtuu ennen kaikkea käytettävissä olleiden lähtötietojen epätarkkuudesta. Murskausprosessi sisältää materiaalin irrotuksen, kuljetuksen murskaimelle sekä itse murskauksen. Tämän lisäksi mursketta oletettiin käsiteltävän rakennuspaikalla esimerkiksi kuormajilla, jolloin osa alaprosesseista lasketaan kahteen kertaan. Tällä ei kuitenkaan arvioitu olevan huomattavaa merkitystä lopputulokseen. Lisäksi päällekkäisyys on varovaisuusperiaatteen mukaisesti parempi vaihtoehto kuin jättää vaikutuksia ottamatta huomioon.

3.3 Case 1: Vuosaaren satama

3.3.1 Lähtötiedot ja oletukset

Lähtötiedot. Suomen uusi satama on Helsingin Vuosaaren satama, joka valmistui vuonna 2008. Se edustaa laskennassa kappale-/yksikkötavarasatamaa. Vuonna 2010 sataman kautta kulki yhteensä 333 000 matkustajaa ja 7,3 miljoonaa tonnia tavaraa (Tuomola, 2011). Sataman maa-alue on yhteensä 150 ha ja tästä meren päälle rakennettua uutta maata on 90 ha (Terramare Oy, 2009). Vuosaaren satamaan johtavan väylän kulkusyvyyks on 11 metriä. Väylä on kokonaisuudessaan 32 km pitkä. Se alkaa Helsingin majakan itäpuolelta ja jatkuu siitä luotsipaikalle ja edelleen Eestiluodon ohi pohjoiseen kohti Vuosaaren satamaa (Liikennevirasto, 2011a).

Väylän ruoppauksia tehtiin yhteensä reilut 670 000 m³, joista suurin osa hyödynnettiin uuden satama-alueen rakentamisessa (Holm, 2011). Maanrakennustyöt alueella olivat raskaita: maansiirtoja alueella ja alueen täyttöihin tehtiin yhteensä 12 miljoonaa kuutiometriä (Tompuri, 2009). Louhemassoja sataman täyttöihin saatiin läheltä sekä Vuolin tunnelityömaalta että niin sanotusta Miljoonamäestä. Lisäksi maa-aineksia saatiin pääkaupunkiseudun isoilta työmailta kuten Musiikkitalon rakennustyömaalta (Tompuri, 2009). Rakennustöihin kuului myös vedenalaista louhintaa, TBT-pitoisten sedimenttien ruoppausta ja massastabilointia sekä syvätiivistystä. Rakentamisessa käytettiin myös pohjatuhkaa sataman maa-alueen kerroksissa sekä meluseinän täytteenä.

⁷ Asteikossa *vaikea* kuvaa erittäin heterogeenista ja raskasta maa-ainesta, jota on esimerkiksi kallioleikkauksissa. Satamarakentamisessa käsitellään suhteellisesti *melko vaikeata* maa-ainesta, jota edustaa esimerkiksi louhe ja ruoppausmassat. Lisäksi murske ja sora on luokiteltu *melko helpoksi* massaksi. Varovaisuusperiaatteen mukaisesti voidaan arvioida, että *melko vaikea* kuvaa parhaiten keskimääräistä maa-ainesta satamarakennuspaikalla.

Satamakentän asfaltointiin kului yhteensä 410 000 t asfalttia (Procam tuotanto Oy, 2009). Sataman alueelle pystytettiin noin 100 kappaletta 40 metrisiä valomastoja (Tompuri, 2009) ja rakennettiin 1000 m pituinen meluseinä (Terramare Oy, 2009). Vuosaaressa on neljä pistolaituria (yhteispituus 910 m), kulmatukimuurilaituria 2540 m sekä lumenkaatolaituri (Terramare Oy, 2008). Laitureiden rakentaminen vaati myös ruoppausta, TBT-pitoisten sedimenttien ruoppausta, maantäyttöä ja syvätiivistystä (Rala ry, 2011). Vuosaaren sataman laitureissa on 14 teräsramppeja, joista kaksoisramppeja on kaksi (Liikennevirasto, 2011a). Väylällä on neljä kappaletta kiinteitä reunamerkkejä, kaksi kappaletta tutkamerkkejä, 24 valojääpoijua ja kolme poijuviittaa (Holm, 2011).

Työkoneiden polttoaineenkulutus vuonna 2010 oli lähes 2,5 miljoonaa litraa. Sähköä kului 17 300 MWh ja kaukolämmön kulutus oli lähes 3 000 MWh (Vuorivirta, 2011).

Oletukset. Ruoppausmassojen läjitysalueen oletettiin sijaitsevan 8 km päässä ruoppauspaikasta (Holm, 2011) ja hiekanotto paikalle oletettiin olevan matkaa 15 km (Kiirikki ja Lindfors, 2006). Koska ruopattujen TBT-massojen määristä oli tiedossa vain neliömäärä, oletettiin TBT-kerroksen paksuudeksi 0,3 m (Yletyinen, 2011). Massastabiloinnin sideaineina oletettiin käytettävän sementtiä ja kalkkia. Näiden määriksi oletettiin 70 kg sideainetta kuutiota kohden (Valkeisenmäki et al., 2008). Massastabiloitavan alueen syvyydeksi oletettiin 4 m (Heikkonen, 2008).

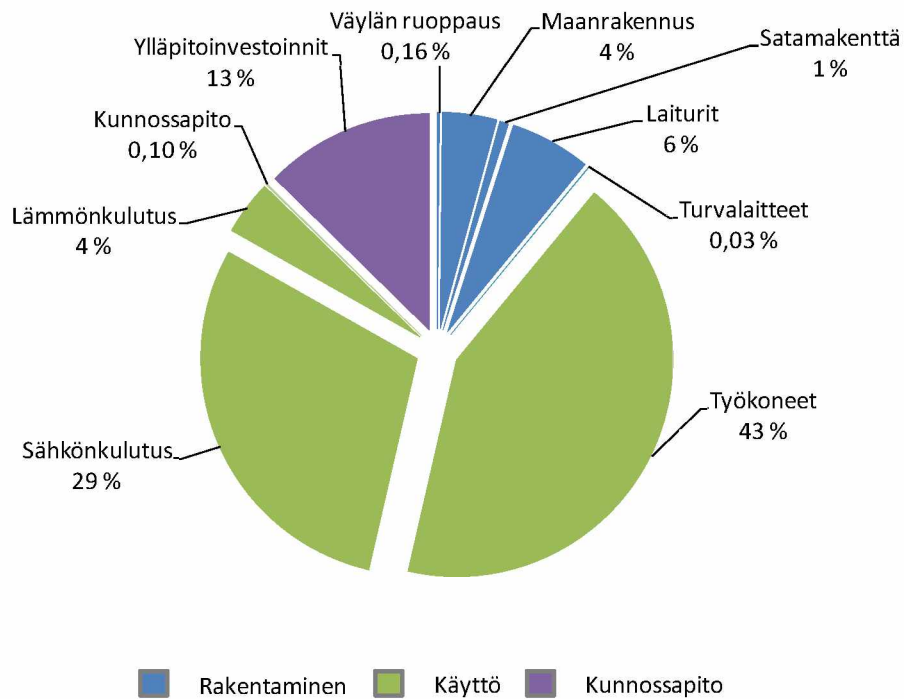
Moreeni- ja kitkamaista koostuvan alusrakenteen paksuuden oletettiin olevan sama kuin eristekerroksen paksuus eli 0,5 m (Uudenmaan ympäristökeskus, 2004). Rakennekerroksessa käytettävästä polypropyleenistä koostuvan suodatinkankaan määrästä ei ollut tarkkaa tietoa. Oletettiin, että satamakentän rakenne ei eroa merkittävästi moottoritien rakenteesta (Holm, 2011). Polypropyleenin määrän oletettiin olevan sama määrä neliötä kohden kuin Jutikkala–Kulju-moottoritieellä (Hagström et al., 2011). Myös satamakentän asfaltin sisältämän murskeen ja bitumin osuudet arvioitiin tienpidon hiilijalanjälkilaskennan case-kohteissa käytettyjen osuuksien perusteella: mursketta 95,5 % ja bitumia 4,5 % (Hagström et al., 2011). Valaisinpylväiden sisältämä teräsmäärä arvioitiin TieMIPS-tutkimuksen tietojen perusteella (Pusenius et al., 2005).

Laiturirakenteissa käytettävän eroosiolaatan paksuudeksi oletettiin 0,5 m (Kautonen, 2011). Kulmatukimuurilaitureiden reunapalkkien betonimäärä laskettiin käyttämällä Mäntyluodon sataman laiturin tietoja, joiden mukaan reunapalkki sisältää betonia 5,8 m³/metri (Lahtinen, 2010). Laitureiden rakentamisvaiheiden oletukset perustuvat tietoihin eri laiturityyppien materiaalien kuljetuksista ja asennuksista (Talvinen, 2009). Lisäksi oletettiin, että kulmatukimuurielementit valettiin rakennuspaikalla liukuvalumenetelmää käyttäen. Valmiit elementit nostettiin paikalle uivalla nosturilla ja laiturin täyttötyö tehtiin tavanomaista maanrakennuskalustoa käyttämällä.

3.3.2 Tulokset

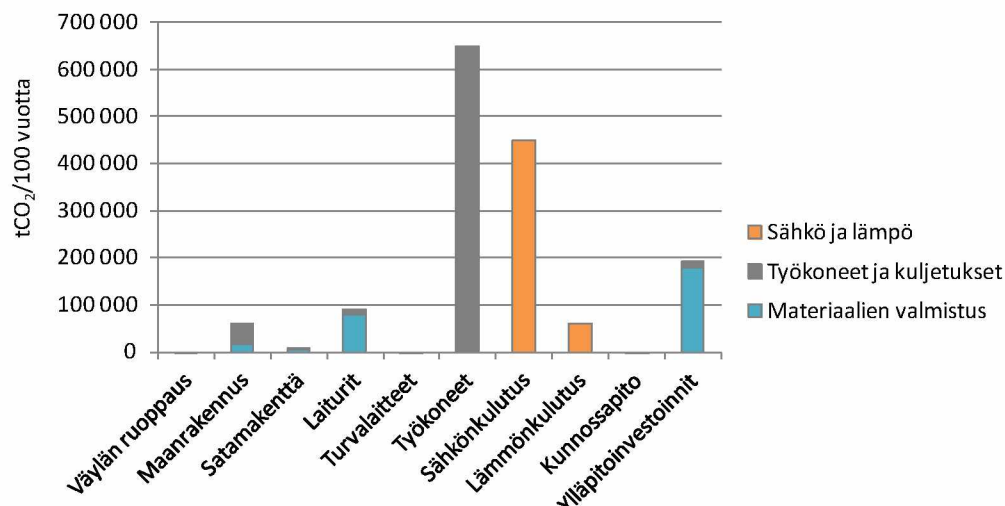
Vuosaaren sataman vuotuiset päästöt ovat yhteensä noin 15 300 tCO₂. Satama-alueen hehtaaria kohti vuosittaiset päästöt ovat keskimäärin noin **102 tCO₂/ha/v**. Päästöt on ensin laskettu koko sadan vuoden elinkaarelle sisältäen rakentamisen, käytön ja kunnossapidon ja jaettu sitten sadalla kuten on kuvattu luvussa 2.1.2. Käyttövaiheen päästöt ovat ylivoimaisesti suurimmat ja kattavat 76 % koko elinkaaren päästöistä. Rakentamisen osuus päästöistä on 11 % ja kunnossapidon 13 %. Sataman ja väylän elinkaaren aikana suurimmat päästöt syntyvät käyttövaiheessa työkoneiden

polttoaineenkulutuksesta (43 %) sekä sataman sähkönkulutuksesta (29 %). Rakennusvaiheessa suurimmat päästöt syntyvät laitureiden rakentamisessa käytettävien materiaalien valmistuksesta: teräksestä ja betonista. Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Päästöjen jakautuminen prosesseittain Vuosaaren satamassa

Vaikka Vuosaaren sataman maanrakennustyöt olivatkin raskaita ja näillä on rakentamisen päästöjen osalta merkittävä vaikutus (lähes 40 % rakentamisen päästöistä), koko elinkaaren aikaisia päästöjä tarkasteltaessa niiden merkitys jää suhteellisen vähäiseksi. Päästöjen alkuperää tarkasteltaessa nähdään, että työkoneet ja kuljetukset aiheuttavat suurimmat päästöt. Materiaalien osuus kokonaispäästöistä on vain vajaat 20 %. Päästöjen alkuperää on havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. Päästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaisesti Vuosaaren satamassa

3.4 Case 2: Länsiterminaali

3.4.1 Lähtötiedot ja oletukset

Lähtötiedot. Länsiterminaali sijaitsee Helsingin Länsisatamassa ja palvelee lähinnä Helsingin ja Tallinnan välistä matkustajaliikennettä. Satama edustaa valituista case-kohteista matkustajasatamia. Sataman kautta kulki vuonna 2010 noin 4,9 miljoonaa matkustajaa ja tavaraliikennettä 1,7 miljoonaa tonnia (Tuomola, 2011). Satama-alue on yhteensä 24 ha (Länsi-Suomen ympäristölupavirasto, 2009). Satamaan johtava väylä on yhteensä 25 km pitkä. Se alkaa Helsingin majakan itäpuolelta ja jatkuu luotsipaikalle ja Gråskärsbodanin ohi pohjoiseen kohti Länsiterminaalia (Liikennevirasto, 2011b).

Länsiterminaali on toinen tässä selvityksessä oleva case-kohde, joka oli myös esimerkkisatamana MeriMIPS-tutkimuksessa 2005. Tuolloin Länsiterminaali oli kuitenkin osa laajempaa Länsisatamaa, jonka kautta kulki paljon tavaraliikennettä. Kun Vuosaaren satama valmistui vuonna 2008, Länsisataman rahtiliikenne siirrettiin suurimmalta osin Vuosaareen, jolloin Länsisatamaan jäi lähinnä matkustajaterminaali. Matkustajalaivojen mukana kulkee kuitenkin yhä jonkin verran yksikkötavaraa. Lisäksi vuonna 2010 Länsiterminaalin kautta kuljetettiin 290 000 tonnia kivihiiltä ja 50 000 tonnia hiekkaa (Tuomola, 2011). Länsiterminaali avattiin matkustajaliikenteelle vuonna 1995, minkä vuoksi vanha tavaramakasiini vuodelta 1941 saneerattiin matkustajaterminaaliksi (Lindqvist et al., 2005).

Suurin osa Länsiterminaalin hiilijalanjälkilaskennan lähtötiedoista on peräisin MeriMIPS-tutkimuksesta, mutta joitain arvioita jouduttiin tekemään tämän tutkimustiedon lisäksi. Muun muassa MeriMIPS-tutkimuksessa otettiin huomioon vain 16,6 km väylää. Tätä selvitystä varten väylän ruoppausmassat ekstrapoloitiin vastaamaan 25 km pituista väylää. MeriMIPS-tutkimuksen tietoja satama-alueen töistä täydennettiin myös vuonna 2007 tehdyillä TBT-pitoisten sedimenttien puhdistusruoppauksella, joka kattoi noin 20 000 neliötä (Rala ry, 2011).

Satamakentän tukikerroksen rakenteisiin kului yhteensä 76 000 t hiekkaa ja päällysteen asfaltti muodostui soran ja bitumin sekoituksesta (Lindqvist et al., 2005). Laitureiden osalta laskennassa otettiin huomioon vain 440 metrinen hirsiaarkkulaituri. Vaikka satamassa todennäköisesti on muutamia muitakin laitureita käytössä, muiden laitureiden rakentamisesta tai rakenteista ei ollut riittävän täsmällistä tietoa saatavilla. Tämän vuoksi myös MeriMIPS-tutkimuksessa otettiin huomioon vain tämä yksi laiturei (Holm, 2011). MeriMIPS-tutkimuksen tietoja täydennettiin kuitenkin huomioimalla betonoitu eroosiolaatta, jonka materiaalmäärä perustui Vuosaaren eroosiolaatan neliömäärään suhteessa laiturin pituuteen. Saman suhteen oletettiin pätevän myös Länsiterminaalin laiturin eroosiolaattaan (Holm, 2011). Sataman laitureissa ei ole ainuttakaan teräsrampia (Holm, 2011).

Vuonna 2010 Länsiterminaalin työkonet kuluttivat polttoainetta 10 200 litraa. Sataman sähkönkulutus oli 5 800 MWh ja kaukolämmönkulutus 2 500 MWh (Vuorivirta, 2011).

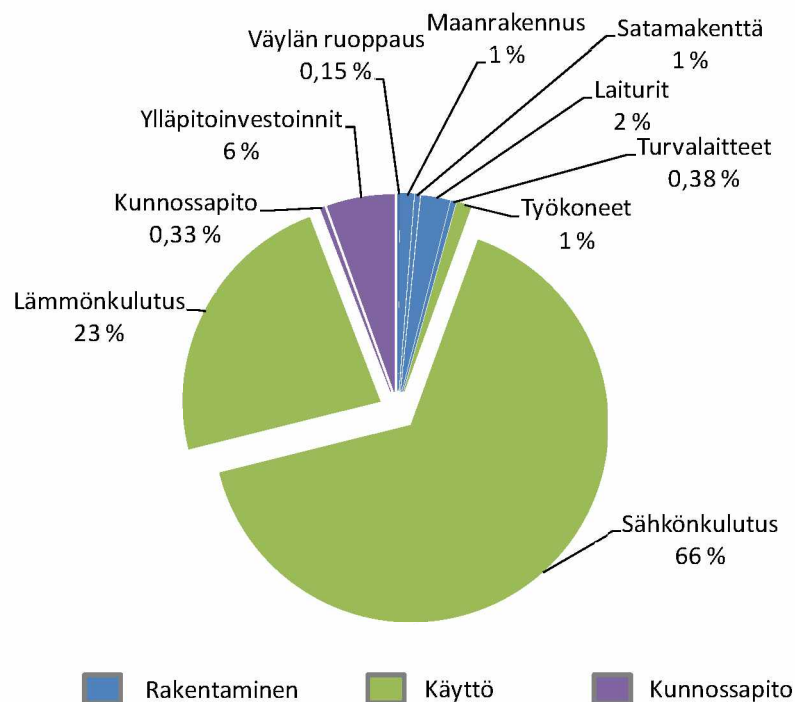
Oletukset. Kuten Vuosaaressakin, oletettiin, että väylän ja satama-alueen ruoppausmassat hyödynnettiin satama-alueen maanrakennustöissä. Keskimääräiseksi matkaksi ruoppauspaikalta satamaan oletettiin 3 km (Holm, 2011). Maantäytöissä hyödynnettiin myös paikalta louhittua materiaalia. Tämän kuljetusmatkaksi oletettiin sama kuin Vuosaaressa eli 5 km. TBT-pitoisen sedimenttikerroksen paksuuden oletettiin olevan 0,3 m (Yletyinen, 2011).

Hirsiaarkkulaiturin rakentamisvaiheen tietoihin on käytetty kasuuniarkkulaiturin materiaalien kuljetuksista ja asennuksista saatavilla olevia tietoja (Talvinen, 2009). Arkkulaiturin betonielementit valetaan liukuvalumenetelmää käyttäen siihen soveltuvalla telakalla, jonka oletettiin Länsiterminaalin tapauksessa olevan Helsingin telakka Hernesaaressa. Valun jälkeen arkku saatetaan veteen kellumaan, hinataan rakennuspaikalle ja upotetaan haluttuun paikkaan päästämällä vettä arkkuun (Talvinen, 2009). Betonielementtien kuljetusetäisyyden Helsingin telakalta Länsiterminaaliiin oletettiin olevan 250 m.

Turvallaitteita koskevat tiedot olivat peräisin MeriMIPS-tutkimuksesta. Jotta perustukset ja ankkurit voitiin ottaa huomioon, tehtiin seuraavat oletukset: poijujen osuus teräsmäärästä oli 50 %, reunamerkkien osuus 25 % ja tutkamerkkien osuus 25 %. Poijuviitat ovat polyeteenin sijaan PVC-muovia (Lindqvist et al., 2005).

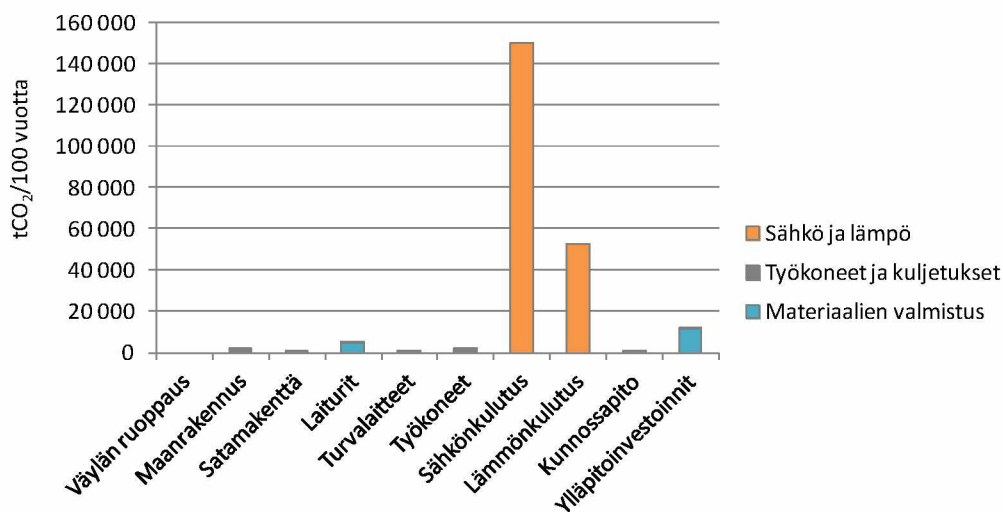
3.4.2 Tulokset

Länsiterminaalin vuotuiset päästöt ovat noin 2 300 tCO₂/v ja satama-alueen hehtaaria kohti lasketut päästöt ovat keskimäärin noin **96 tCO₂/ha/v**. Käyttövaiheen päästöt ovat ylivoimaisesti suurimmat ja kattavat 90 % koko elinkaaren päästöistä. Rakentamisen osuus on vain 4 % ja kunnossapidon 6 %. Sataman sähkönkulutus on päästöjä eniten aiheuttava prosessi. Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Päästöjen jakautuminen prosesseittain Länsterminalissa

Päästöjen jakautuminen heijastaa matkustajaterminaalien käytön tarpeita: toisin kuin Vuosaaressa, jossa tavaraliikenne vaatii paljon työkoneita ja siten polttoainetta, Länsterminalissa sähkön- ja lämmönkulutus aiheuttavat yhteensä lähes 90 % päästöistä. Länsterminaalien elinkaari-päästöt ovat case-kohteista kaikkein pienimmät. Energiankulutus on alkuperätarkastelussa suurin päästölähde. Materiaalien valmistuksen osuus on vain 8 %. Työkoneiden ja kuljetusten aiheuttamat päästöt jäävät matkustajaterminaalissa erittäin pieniksi. Päästöjen jakautumista päästöjen alkuperän mukaisesti on havainnollistettu kuvassa 6.



Kuva 6. Päästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaisesti Länsterminalissa

3.5 Case 3: Naantalin satama

3.5.1 Lähtötiedot ja oletukset

Lähtötiedot. Naantalin satama koostuu kolmesta osasta: Kantasatamasta, Luonnonmaan satamasta ja Fortumin teollisuussatamasta. Tässä laskennassa on otettu huomioon nämä kaikki ja niistä käytetään yhteisnimitystä Naantalin satama. Naantalin satama on tonnimäärillä mitaten neljänneksi suurin talvisatama. Vuonna 2010 tavarakuljetukset olivat yhteensä yli 8 miljoonaa tonnia ja sataman kautta kulki yhteensä vajaat 180 000 matkustajaa (Naantalin satama, 2010). Case-kohteista Naantali edustaa nestebulk-satamia, vaikka sen kautta kulkee myös paljon irtolastia ja kappale-/yksikkötavaraa. Vuonna 2010 58 % tavaraliikenteestä oli raakaöljyä ja muita öljytuotteita (Liikennevirasto, 2011c ja 2011d). Naantalin satamaan johtaa 127 km pitkä väylä (Lindqvist et al, 2005) ja se on Satamaliiton jäsensatamiin johtavista väylistä pisin (Satamaliitto, 2010).

MeriMIPS-tutkimuksessa satama oli jaettu kahteen osaan, Naantalin kunnalliseen satamaan sekä Fortumin teollisuussatamaan. Kuten edellä mainittiin, tässä selvityksessä tiedot on yhdistetty. Yhteenlaskettu satama-alue kattaa yhteensä 24 ha (Satamaliitto, 2010; Lindqvist et al., 2005).

Väylää ruopattiin yhteensä yli 900 000 t (Lindqvist et al., 2005). Toisin kuin kahdessa aiemmin esitellyssä case-kohteessa, massat kuljetettiin suoraan läjitysalueelle, joka sijaitsee keskimäärin 6 km päässä ruoppauskohteista (Holm, 2011). Myös satama-alueen ruoppaukset kuljetettiin läjitysalueelle, eli niitä ei hyödynnetty satama-alueen rakentamisessa (Holm, 2011). Satamakentän tukikerros rakennettiin sepelistä. Asfalttirakenne muodostui soran ja bitumin sekoituksesta (Lindqvist et al., 2005). Laskennassa otettiin huomioon 1030 m kunnallisen sataman laitureita, Fortumin teollisuussataman arkkulaituri sekä vuonna 2006 rakennettu 175 metrin roro-laituri (Lindqvist et al, 2005; Rala ry, 2011). Naantalin sataman laitureissa on 4 teräsrampia, joista yksi on kaksikerroksinen (Holm, 2011).

Naantalin sataman työkoneet kuluttavat vuoden aikana yhteensä yli 1,5 miljoonaa litraa polttoainetta (Lindqvist et al., 2005). Sähkönkulutus oli yhteensä 805 MWh ja kaukolämmönkulutus puolestaan 720 MWh vuonna 2010 (Naantalin satama, 2010).

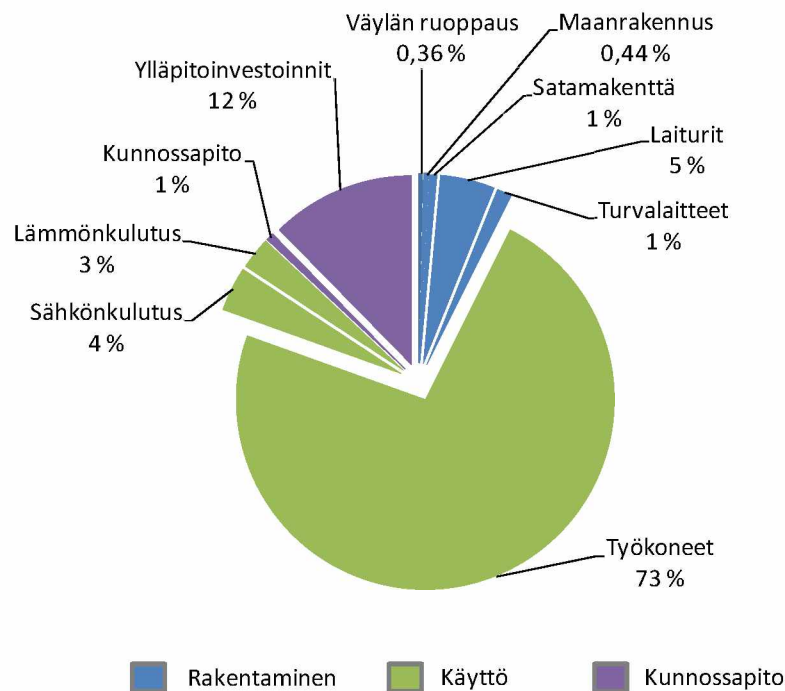
Oletukset. Naantalin sataman 1030 metriä laituria oletettiin kulmatukimuurilaitureiksi MeriMIPS-tutkimuksen materiaalitetoihin perustuen. Tämän, sekä Fortumin arkkulaiturin ja roro-laiturin laskennat perustuivat tietoihin kunkin laiturityypin rakentamisen vaiheista ja rakenteista (Talvinen, 2009). Roro-laiturin oletettiin olevan ponttiseinälaituri sen tiedossa olevien materiaalien ja rakenteiden perusteella (Rala ry, 2011). Ponttiseinälaiturin putkiponttiseinät koostuvat teräsputkipaaluista, jotka upotetaan maaperään joko lyömällä, täräyttämällä tai painamalla (Talvinen, 2009). Laskelmissa oletettiin, että tähän käytettiin paalutuskalustoon verrattavissa olevaa kalustoa (Holm, 2011). Kuten Länsiterminaalien laskennassa, eroosiolaatan materiaalit laskettiin perustuen Vuosaaren eroosiolaatan neliömäärään suhteessa laiturin pituuteen. Teräsputkiponteista ja teräspaaluista oli tiedossa vain kappalemäärät (Rala ry, 2011). Teräsputkiponttien teräsmäärät arvioitiin olettamalla teräsputkipontin pituudeksi 25 m (Holm, 2011) ja teräsputkipontin painoksi sama kuin teräspaaluilla eli 315 kg/m (Ruukki Oyj, 2011). Teräsmaalujen teräsmäärät laskettiin jakamalla Vuosaaren

sataman laitureiden teräspaalojen sisältämä teräsmäärä laitureiden pituudella, olettaen, että teräspaalojen määrä laiturimetriä kohden olisi sama myös Naantalissa.

Turvalaitteiden materiaalien lähtötiedot ovat peräisin MeriMIPS-tutkimuksesta, mutta kappalemääriä ei ollut tiedossa. Tässä meneteltiin kuten Länsiterminaalinkin laskennassa olettamalla teräsmäärän jakautuvan 50 % poijuihin, 25 % reunamerkkeihin ja 25 % tutkamerkkeihin. Kappalemäärien perusteella laskettiin kiinteiden merkkien perustukset sekä poijujen ankkurit. Poijuviittojen ankkureina käytettiin betonin sijaan kiveä (Lindqvist et al., 2005).

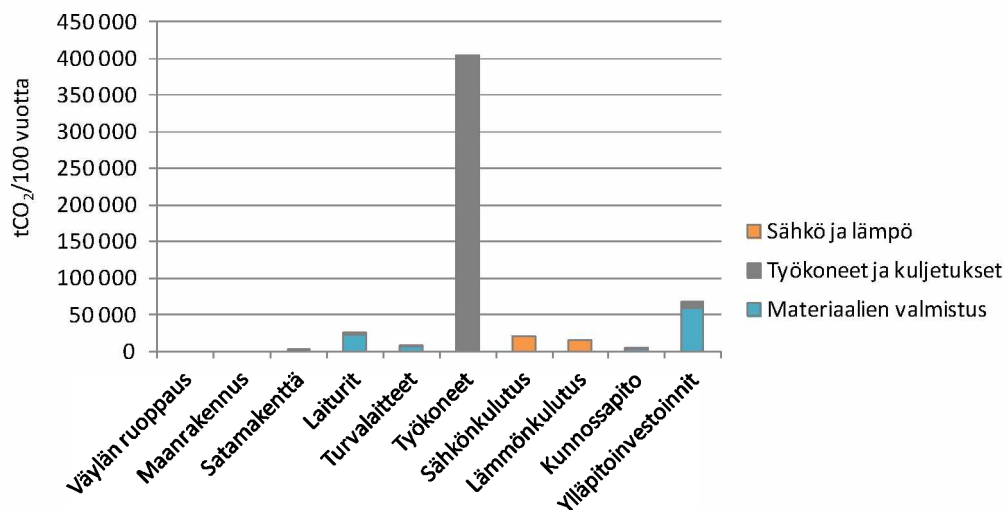
3.5.2 Tulokset

Naantalin sataman vuotuiset päästöt ovat yhteensä noin 5 600 tCO₂/v. Satama-alueen hehtaaria kohti lasketut vuotuiset päästöt ovat keskimäärin **231 tCO₂/ha/v**. Kuten aiemmissakin case-kohteissa, myös Naantalissa käyttövaiheen päästöt ovat suurimmat kattaen 80 % elinkaaripäästöistä. Rakentamisen osuus on 7 % ja kunnossapidon 13 %. Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Päästöjen jakautuminen prosesseittain Naantalin satamassa

Sataman käytössä olevien työkoneiden polttoaineenkulutus aiheuttaa suurimman osan päästöistä. Vaikka Naantalin väylä on pitkä, väylän ruoppausten aiheuttamat päästöt ovat pienet suhteessa muuhun rakentamisen päästöihin (vain 5 %) ja elinkaaripäästöihin (alle 0,5 %). Päästöjen alkuperätarkastelussa työkoneet ja kuljetukset aiheuttavat 77 % päästöistä. Alkuperän mukainen päästöjen jaottelu on havainnollistettu kuvassa 8.



Kuva 8. Päästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaisesti Naantalín satamassa

3.6 Case 4: Raahen satama

3.6.1 Lähtötiedot ja oletukset

Lähtötiedot. Vuonna 2010 Raahen sataman kautta kulki Perämeren satamista toiseksi eniten tavaraa Kokkolan jälkeen (Liikennevirasto, 2011c ja 2011d). Raahen edustaa case-kohteista irtolastisatamaa, eikä siellä ole matkustajaliikennettä. Tavara-liikenteen määrä vuonna 2010 oli 6,2 miljoonaa tonnia. Tonnimääriltään suurimmat tavaralajit olivat malmit ja erilaiset rikasteet, kivihiili ja metallit sekä metallituotteet (Liikennevirasto, 2011c ja 2011d). Raahen sataman maa-alue on yhteensä 70 hehtaaria (Satamaliitto, 2010) ja satamaan johtavan väylän pituus on 26 km (Holm, 2011).

Vuonna 2010–2011 valmistui Raahen syväväylä- ja syväsatamahanke, jonka yhteydessä väylä ja satama-allas syvennettiin 10 metrin kulkusyvytyteen. Samalla rakennettiin uusi 355 metrin syvälaituri (Raahen satama, 2011). Hankkeen yhteydessä tehdyt ruoppaukset olivat suurin Perämerellä koskaan toteutettu ruoppaushanke (Raahen Seutu ja Raahelainen, 2009). Väylän ruoppausmassat läjitettiin kolmelle eri meriläjitysalueelle. Sataman ruoppausmassat, joita oli lähes 2 miljoonaa kuutiota, hyödynnettiin sataman rakenteisiin (Holm, 2011). Ruoppaushankkeen materiaalit ja työt on otettu huomioon tämän selvityksen laskennassa.

Lukuun ottamatta syväväylä- ja syväsatamahanketta, Raahen sataman rakenteista ja rakentamisesta oli kaikista case-kohteista vähiten tietoa saatavilla. Ruoppausmassoista oli saatavilla suhteellisen luotettavia arvioita. Ruoppauksia väylällä ja satama-alueella tehtiin yhteensä yli 3,7 miljoonaa kuutiota (Rala ry, 2011). Väylän ruoppausmassat kuljetettiin läjitysalueelle, jonka keskimääräiseksi kuljetusmatkaksi arvioitiin 4 km. Satama-alueen ruoppausmassat puolestaan hyödynnettiin maanrakennuksessa. Näiden massojen kuljetusvälyydeksi arvioitiin 2 km (Holm, 2011). Maantäyttöihin käytettiin erilaisia maa-aineksia yhteensä yli 2 miljoonaa kuutiota. Vedenalaista louhintaa tehtiin 5 000 neliötä. Reunapenkereiden, louhe- ja lohkareverhousten rakentamiseen kului louhetta yhteensä lähes 350 000 kuutiota (Rala ry, 2011).

Uuden 355 metriä pitkän syvälaiturin lisäksi Raahen satamassa on viisi muuta laituria: kolme lastauslaituria, yksi hinaajalaituri ja yksi odotuslaituri. Näiden yhteispituus on 895 metriä (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto, 2007). Raahessa ei ole laitureille johtavia teräsramppeja, vaan lastaus ja purku tapahtuu nostureilla (Holm, 2011). Väylällä on 3 tutka-/reunamerkkiä, 20 poijua ja 7 poijuviittaa (Holm, 2011).

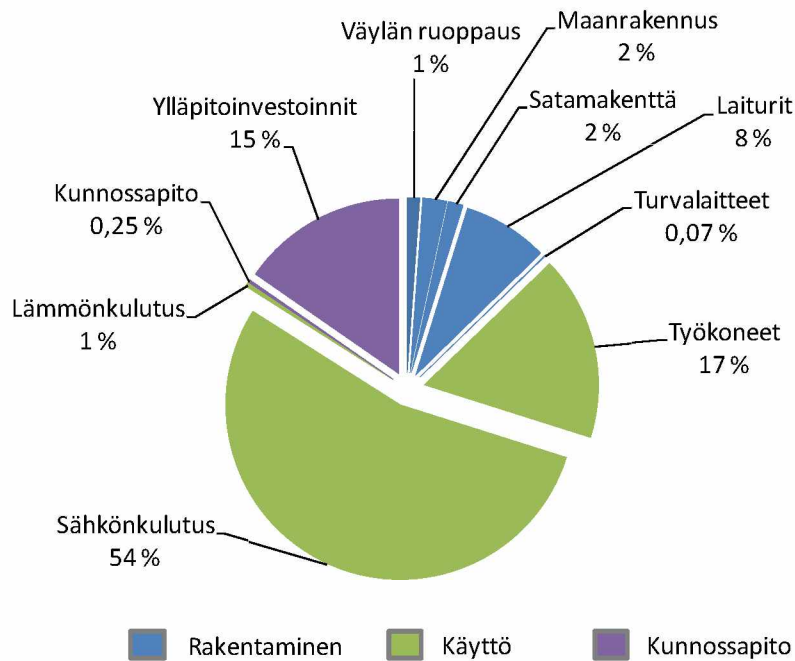
Sataman työkoneiden keskimääräinen polttoaineenkulutus on 248 000 litraa vuodessa. Satamarakennuksen lämmitykseen käytetään vuosittain 6 000 litraa kevyttä polttoöljyä (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto, 2007). Sähkönkulutuksesta ei ollut tarkkoja tietoja, mutta tämän arvioitiin olevan suuruusluokkaa 8 000 MWh vuodessa perustuen muiden vastaavien satamien ympäristölupapäätöksissä oleviin tietoihin (Holm, 2011).

Oletukset. Raahen sataman lähtötietojen arvioimiseksi jouduttiin tekemään monia oletuksia. Maanrakennusmassoista louhe- ja lohkareverhouksesta tiedettiin vain verhouksen neliömäärä (112 000 m²). Tämän paksuudeksi oletettiin 0,5 m (Holm, 2011). Satamakentän rakenteen osalta oletettiin, että Raahen satamakenttä olisi samanlainen kuin Naantalin satamakenttä. Tukikerros koostui sepelistä ja asfaltti soran ja bitumin sekoituksesta. Naantalin satamakentän materiaaleista laskettiin menekki satamakentän neliötä kohden. Tätä suhdelukua käytettiin arvioimaan Raahen satamakentän rakentamisessa käytetyt materiaaalimäärät. Oletettiin, että sepeliä kuluu 3,48 tonnia neliötä kohden, soraa 0,18 t/m² ja bitumia 0,01 t/m².

Laiturin rakenteet arvioitiin perustuen tietoihin uuden syvälaiturin rakentamisesta ja materiaaleista. Oletettiin, että kaikki laiturit olivat rakenteiltaan kulmatukimuurilaitureita. Betonielementtien ja raudotteiden materiaaalimäärät ”vanhoille” laitureille laskettiin suhteuttamalla uuden syvälaiturin materiaalit laiturin pituuteen ja uuteen kulkusyvyyteen (10 m). Kulkusyväys kaikilla lastauslaitureilla ja odotuslaiturilla oli 8 m (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto, 2007), jolloin näiden materiaaalimäärät laiturimetriä kohden olivat 80 % uuden syvälaiturin materiaaleista. Hinaajalaiturin kulkusyväys oli vain 5,41 m (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto, 2007), jolloin tämän materiaalit vastaavasti olivat 54 % syvälaiturin materiaaleista laiturimetriä kohden. Koska muista laiturin osista ei ollut tarkempaa tietoa, tehtiin seuraavat oletukset (Holm, 2011): muita betonirakenteita vaaditaan 30 % betonielementtien betonimäärästä. Laiturialueiden pengerrystarve on noin 300 m³/laiturimetri. Eroosiolaatan materiaalit laskettiin perustuen Vuosaaren eroosiolaatan neliömäärään suhteessa laitureiden pituuteen.

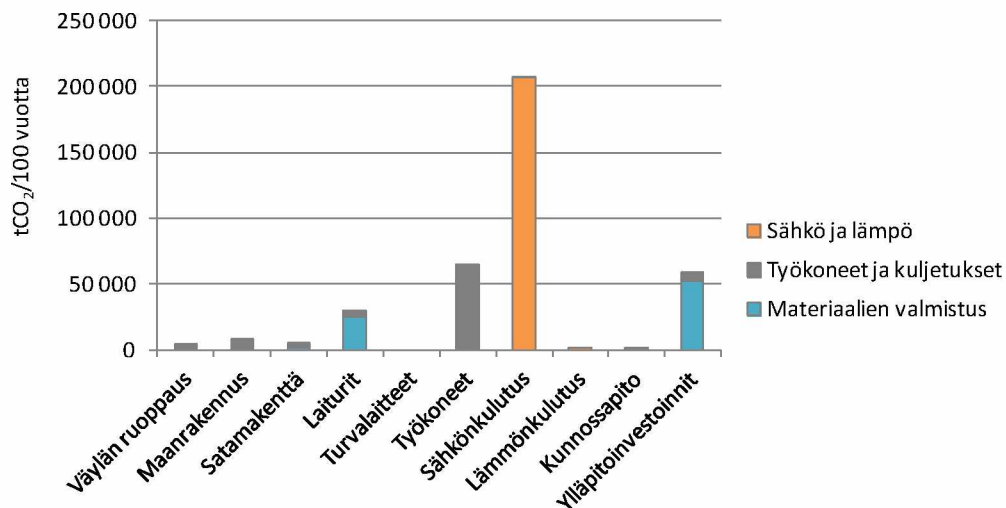
3.6.2 Tulokset

Raahen sataman vuosittaiset päästöt ovat noin 3 850 tCO₂/v. Satama-alueen hehtaaria kohti vuotuiset päästöt ovat keskimäärin noin **55 tCO₂/ha/v**. Käyttövaiheen osuus kokonaispäästöistä on suurin (72 %). Sähkönkulutus on eniten päästöjä aiheuttava prosessi. Rakentamisen päästöt olivat 13 % ja kunnossapidon 15 % kokonaisuudesta. Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Päästöjen jakautuminen prosesseittain Raahen satamassa

Syväväylä- ja syväsatamahankkeen ruoppausten ja uuden syvälaiturin päästöt eivät ole kovin merkityksellisiä suhteessa elinkaari-päästöihin. Rakentamisen päästöistä laiturirakentamisen päästöt ovat suurimmat. Energiankulutus on merkittävin päästölähde materiaalien valmistuksen osuuden ollessa 21 % ja työkoneiden kuljetusten osuuden 24 %. Päästöjen alkuperän mukaisesti jaotellut päästöt on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Päästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaisesti Raahen satamassa

3.7 Case-vertailu

3.7.1 Case-laskelmien tulosten vertailu

Taulukossa 1 on esitetty kaikkien merenkulun case-laskelmien tulokset 100 vuoden tarkastelujaksolla sekä satama-alueiden koot, väylien pituudet, kulkusyväykset ja liikennemäärät. Taulukkoon on kerätty tiedot päästöjen jakautumisesta rakentamisen, käytön ja kunnossapidon välillä. Lisäksi case-kohteiden päästöille on laskettu muutamia suhdelukuja.

Case-kohteista Vuosaaren satamalla on selkeästi suurimmat ilmastovaikutukset elinkaarensa aikana. Tämä selittyy suurimmaksi osaksi sillä, että Vuosaari on case-kohteista suurin: satama-alue on lähes kaksinkertainen verrattuna Raahen satamaan ja kuusinkertainen verrattuna Länsiterminaalisiin tai Naantalisiin satamaan.

Maanrakennuksen päästöt suhteessa maa-alueen hehtaarimäärään olivat Vuosaaresa 414 tCO₂/ha, Raahessa 123 tCO₂/ha, Naantalissa 120 tCO₂/ha ja Länsiterminaalissa 104 tCO₂/ha. Vuosaaren suuret päästöt johtuvat muutamasta asiasta:

- Vuosaaresa nostettiin hiekkaa valtavat määrät satama-alueen täyttöihin.
- Maa-aineksia massastabiloitiin, johon käytettiin suuria määriä sementtiä ja kalkkia. Maa-aineksia ei kaikkia saatu rakennuspaikalta, vaan niitä kuljetettiin rakennuspaikalle eri puolilta pääkaupunkiseutua.
- Suuren liikennemäärän johdosta Vuosaaren sataman sähkönkulutus on myös suurta.

Tarkastelussa on huomattava, että Vuosaaren sataman rakentamisesta oli hieman muita case-kohteita tarkemmat lähtötiedot saatavilla.

Länsiterminaalien elinkaaripäästöt olivat case-kohteista pienimmät. Matkustajasatamana työkoneiden polttoaineen käyttö on vain 1 % kokonaispäästöistä ja minimaalinen suhteessa tavarasatamiin, joissa työkoneiden polttoaineenkulutuksen osuus vaihtelee välillä 17–73 %. Matkustajasatamassa lämmöntarve on tavarasatamia merkittävämpi: Länsiterminaalissa lämmönkulutuksen osuus elinkaaripäästöistä on 23 %, kun taas tavarasatamissa osuus oli 1–4 %. Tavarantoimitus ja siirtely eivät luonnollisesti vaadi yhtä korkeita lämpötiloja kuin matkustajien viihtyvyys. Käyttövaiheen päästöjen osuus kokonaispäästöistä oli Länsiterminaalissa noin 10–20 prosenttiyksikköä suurempi kuin tavarasatamissa. Tämä selittyy sillä, että tavaraliikenne vaatii painonsa vuoksi järeämpää laituria ja satamakenttää, jotka näkyvät tavarasatamien päästöissä korkeampina rakentamisen ja kunnossapidon päästöjen osuuksina.

Taulukko 1. Merenkulun case-laskelmien tulokset

Satama	Elinkaari, 100v.				Päästöt per vuosi (tCO ₂ /v)	Päästöt per väylä-km per vuosi (tCO ₂ /km/v)	Päästöt per maa-alueen ha per vuosi (tCO ₂ /ha/v)
	Päästöt 100v. (tCO ₂)	Rakennus (%)	Käyttö (%)	Kunnossa- pito (%)			
Vuosaari väylä 32 km syvyys 11 m satama-alue 150 ha tavaraliikenne: 7,3 Mt hlöliikenne: 333 000 hlö	1 524 000	11%	76%	13%	15 250	480	102
Länsiterminaali väylä 25 km syvyys 11 m satama-alue 24 ha tavaraliikenne: 1,7 Mt hlöliikenne: 4,9 M hlö	230 000	4%	90%	6%	2 300	92	96
Naantali väylä 127 km syvyys 13 m satama-alue 24 ha tavaraliikenne: 8,1 Mt hlöliikenne: 180 000 hlö	555 000	7%	80%	13%	5 600	44	233
Raahе väylä 26 km syvyys 10 m satama-alue 70 ha tavaraliikenne: 6,2 Mt hlöliikenne: 0 hlö	384 000	13%	72%	15%	3 850	148	55

Naantalin sataman päästöt satama-aluehehtaaria kohden olivat ylivoimaisesti case-kohteiden suurimmat. Naantalin satama-alue on pieni, kun otetaan huomioon, että Naantalin sataman liikennemäärä (sekä tavara- että matkustajaliikenne) on kaikista case-kohteista suurin. Suurin osa Naantalin tavaraliikenteestä on raakaöljyä ja muita öljytuotteita, jotka yleensä puretaan ja lastataan aluksen omalla pumppukalustolla, eikä nostureille ja muulle erikoiskalustolle vaadita maatilaa yhtä paljon kuin esimerkiksi kappale-/yksikkötavaraa käsittelevissä satamissa (Talvinen, 2009). Naantalin väylän pituuden vaikutus näkyy lähinnä turvalaitteiden päästöissä, joiden osuus elinkaaripäästöistä on Naantalin satamassa suurin (1 %) suhteessa muihin satamiin (0,03–0,38 %). Ottaen huomioon myös kuljettavan tavarat laadun (öljy), turvalaitteet ovat järeämpiä Naantalissa kuin muilla case-kohteiden väylillä (Holm, 2011).

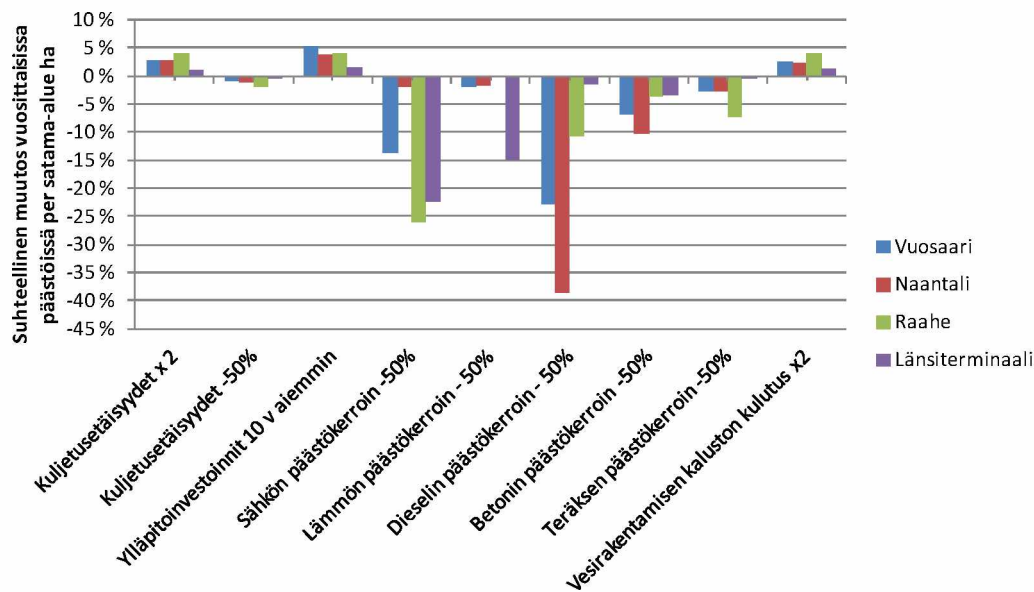
Raahen sataman elinkaaripäästöt ovat toiseksi pienimmät kaikista case-kohteista. Kun verrataan päästöjä suhteessa satama-alueeseen, ovat Raahen päästöt muita satamia selkeästi pienemmät. Tämä selittyy suhteellisen suurella maa-alueella. Raahen satama kuljettaa lähes yksinomaan irtotavaraa. Tämän käsittelyyn tarkoitetuilla laitureilla on usein omaa erikoiskalustoa tavarat purkua varten sekä mahdollinen liukuhihna tavarat edelleen kuljettamiseksi (Talvinen, 2009). Syväväylä- ja syväsatamahankkeen vaikutukset on havaittavissa siinä, että Raahen väylän ruoppauksen absoluuttiset päästöt ovat muita satamia selkeästi suuremmat (mm. kaksinkertaiset verrattuna Vuosaareen) ja myös laitureiden rakentamisen päästöt ovat merkittävät. Tästäkin huolimatta ruoppaukset edustavat elinkaaripäästöissä vain 1 % ja laiturit vastaavasti 8 %. Raahen päästöjen laskennassa jouduttiin turvautumaan enemmän arvioihin ja oletuksiin kuin muiden satamien kohdalla. Kuitenkin verrattaessa satamien päästöjä toisiinsa, suuruusluokka vaikuttaa luotettavalta ottaen huomioon satama-alueen koon, väylän pituuden sekä liikennemäärät ja -laadut.

3.7.2 Herkkyysanalyysi

Laskennassa tehtiin useita oletuksia. Oletukset, joilla voidaan olettaa olevan suurin vaikutus laskennan lopputulokseen ja joille on mielekästä tehdä herkkyysanalyysi, ovat:

- maamassojen ja materiaalien kuljetusetäisyydet
- ylläpitoinvestointien tiheys (materiaalien ja komponenttien eliniät)
- keskeiset päästökertoimet
- vesirakentamisen kaluston kulutustiedot

Kuljetusetäisyyksien osalta herkkyysanalyysissä tarkasteltiin tilannetta, jossa kuljetusetäisyydet olivat kaksinkertaisia case-laskelmiin verrattuina. On mahdollista, että todelliset etäisyydet ovat olleet selvästi pidempiä kuin laskelmissa käytetyt 50 km kuljetusetäisyys massoille ja materiaaleille ja 4–8 km kuljetusetäisyydet ruoppausmassoille. Myös vesirakentamisen kaluston polttoainekulutukset kaksinkertaistettiin herkkyysanalyysissä, sillä nämä perustuivat vain yhden yrityksen antamiin tietoihin, joten mahdollisen kulutuksen aliarvioinnin vaikutukset oli syytä tarkastaa. Energian päästökertoimet sadan vuoden aikana muuttuvat varmasti. Tässä näiden vaikutusta on analysoitu olettamalla, että sadan vuoden aikana sähkön, lämmön ja polttoaineen päästökertoimet todennäköisesti laskevat. Sähkön osalta tämä tapahtuu fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyessä ja uusiutuvan energia lisääntyessä sekä polttoaineiden osalta biokomponenttien lisääntyessä (esim. biodiesel). Herkkyysanalyysin tulokset on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Päästöjen herkkyyshanalyysi

Tuloksista nähdään, että suurimmat vaikutukset ovat sähkön ja dieselin päästökertoimien muutoksilla. Tehdyt oletukset kuljetusestisyyksistä ja ylläpitoinvestoinneista eivät vaikuta merkittävästi laskennan lopputuloksiin, niin kuin eivät myöskään vesirakentamisen kaluston polttoaineenkulutukset; näiden kaikki osalta vaikutukset jäävät alle $\pm 5\%$. Lämmönkulutuksen päästökertoimella on merkitystä lähinnä Länsiterminaalien päästöihin, jossa sen osuus päästöistä oli lähes neljännes. Tarkastelusta nousee esiin vielä erityisesti polttoaineen kertoimen vaikutukset Naantalien sataman päästöihin, jossa työkoneiden ja kuljetusten osuus päästöistä on 76 %.

3.7.3 Johtopäätökset

Tässä selvityksessä tarkasteltiin erilaisten satamien ja väylien rakentamisen, käytön ja kunnossapidon prosesseja sekä niiden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Yhtenäisen menetelmän käyttäminen teki mahdolliseksi vertailun tärkeimpien päästölähteiden tunnistamisen sekä satamatyyppien välillä.

Laskentatulosten ja herkkyyshanalyysin perusteella voidaan todeta, että merenkulun hiilijalanjälkeen vaikuttavat eniten satamien työkoneiden käyttö ja sataman sähkön- ja lämmönkulutus. Vaikka rakenteissa käytetään paljon betonia ja terästä, näiden valmistuksessa syntyneet päästöt muodostavat vain pienen osan tarkastellun sadan vuoden elinkaaren aikana syntyvistä päästöistä. Keskeinen muuttuja eri satamia vertailtaessa on liikennetyyppi, jota satama palvelee: onko kyseessä matkustajasatama vai tavarasatama ja jos jälkimmäinen, niin minkälaista tavaraa sataman läpi kuljetetaan. Näillä on suuri vaikutus satamakenttien kokoon ja laitureiden rakenteisiin, joiden aiheuttamat päästöt muodostavat suurimman osan rakentamisen päästöistä sekä kunnossapitotarpeista. Se, kuljetetaanko henkilöitä vai tavaroita, määrittää myös käyttövaiheen päästöt: kuinka paljon tarvitaan työkoneita, kuinka paljon kuluu sähköä ja kuinka paljon satamarakennuksia tarvitsee lämmittää.

Merenkulun infrastruktuurin päästöihin voidaan vaikuttaa tehokkaimmin valitsemalla energiatehokkaampia työkoneita lastin käsittelyyn, parantamalla kiinteistöjen energiatehokkuutta sekä hyödyntämällä mahdollisuuksien mukaan uusiutuvia energialähteitä. Työ- ja elinkeinoministeriö julkaisi vuonna 2011 uudet ohjeet julkisten hankinto-

jen energiatehokkuudesta (TEM, 2011). Nykyinen hankintalaki kannustaa ottamaan ympäristönäkökulmat huomioon, joten hankintakriteerinä voidaan ottaa huomioon työkoneiden energiatehokkuus ja edellytykset hyödyntää biopolttoaineita. Merenkulkua palvelevan infrastruktuurin, kuten satamarakennusten, energiankulutusta voidaan myös pyrkiä vähentämään mm. sähkönkulutuksen ohjauksella ja/tai rakennusteknisin keinoin. Yksi järkevä keino on työ- ja elinkeinoministeriön tukemien energia-katselmusten toteuttaminen energiantensiivisiin kohteisiin ja panostaminen niissä esiin nousseisiin energiatehokkuustoimiin. Lisäksi uusiutuvien energiantuotantomuotojen, kuten tuulivoiman ja aurinkosähkön, mahdollisuuksia tulisi pohtia osana kiinteistöjen energiaratkaisuja. Etenkin kohteissa, jotka eivät kuulu kaukolämmön piiriin ja käyttävät lämmöntuotannon polttoaineena fossiilisia energialähteitä, tulisi arvioida vaihtoehtoisia ympäristöystävällisempiä lämmitysmuotoja. Myös uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön hankinta on keino vähentää päästöjä laajassa mittakavassa, kun puhtaammin tuotetun sähkön kysynnän kasvu ohjaa sähköntuottajia lisäämään uusiutuvien energialähteiden osuutta tuotannossaan.

4 Suomen rannikon kauppamerenkulun hiilijalanjälki

4.1 Väylien ja satamien luokittelu

Jotta koko Suomen rannikon kauppamerenkulun väylien ja satamien hiilijalanjälki pystyttiin arvioimaan, täytyi ne luokitella yleistämistä varten. Ollakseen käyttökelpoinen, luokituksen on perustuttava yhtäältä olemassa olevaan tilastotietoon, toisaalta case-laskelmien avulla hankittuun näkemykseen suurimmista hiilijalanjälkeen vaikuttavista tekijöistä. Lisäksi luokittelun on oltava mahdollisimman yksinkertainen, mutta samalla myös perusteltu.

Analyysin tuloksena väylien ja satamien hiilijalanjälkiluokittelun perustaksi otettiin sataman liikennetyyppi: matkustaja- ja tavarasatamat. Lisäksi tavarasatamia luokiteltiin tavararyhmien mukaisesti luvussa 4.2 kuvatulla tavalla. Sataman koko ja sen energiatarve määräytyvät sataman läpi kulkevan henkilö- ja tavaramäärän sekä tavaralaadun mukaisesti. Sataman koko ja energiakäyttö puolestaan korreloivat sekä rakentamisen, käytön että kunnossapidon hiili-intensiivisyyden kanssa.

4.2 Yleistysmalli ja tulokset

Yleistysmalli

Case-laskelmat tehtiin neljälle erityyppiselle satamalle ja niihin johtavalle väylälle: Länsiterminaali, joka edustaa matkustajasatamaa; Vuosaaren satama, joka edustaa kappale-/yksikkötavarasatamaa; Naantalin satama, joka edustaa nestebulk-satamaa, sekä Raahen satama, joka edustaa irtolastisatamaa. Muut Suomen 23 talvisatamasta luokiteltiin Liikenneviraston ja Satamaliiton tilastojen (Liikennevirasto 2011c ja 1022d; Satamaliitto, 2010) perusteella näihin neljään luokkaan. Helsingin satama on luokittelussa eritelty neljään eri satamaan, jolloin luokiteltavia satamia oli yhteensä 26 kpl. Luokitteluun hyödynnettiin tilastoja ulkomaan ja kotimaan tavaraliikenteestä tavararyhmittäin sekä tilastoja ulkomaan ja kotimaan henkilöliikenteestä. Näiden perusteella talvisatamat luokiteltiin taulukon 2 mukaisesti (tarkemmat tiedot liitteessä 2).

Taulukko 2. Satamien luokittelu

Irtolastisatamat	Matkustaja-satamat	Kappale-/yksikkö-tavarasatamat	Nestebulk-satamat	Nestebulk-/irtolastisatama
Raahe	Länsiterminaali	Vuosaari	Naantali	Oulu
Koverhar	Katajanokka	Turku	Kilpilahti	
Loviisa	Eteläsatama		Hamina	
Kantvik				
Tornio				
Inkoo				
Kemi				
Kokkola				
Kaskinen				

Irtolastisatamat	Matkustaja-satamat	Kappale-/yksikkö-tavarasatamat	Nestebulk-satamat	Nestebulk-/irtolastisatama
Uusikaupunki				
Pori				
Pietarsaari				
Vaasa				
Rauma				
Kotka				
Hanko				
Maarianhamina				

Oulun satama luokiteltiin irtolastisataman ja nestebulk-sataman välimuodoksi, sillä tavaraliikenne jakautuu näiden kesken melkein puoliksi.

Jotta case-kohteista saatava tieto voitiin yleistää mahdollisimman hyvin ottaen huomioon päästöjen korrelaatiot elinkaaren eri vaiheiden kanssa, case-kohteille laskettiin suhdeluvut erikseen rakentamisen, käytön ja kunnossapidon päästöille. Taustanalyysin ja asiantuntija-arvioiden perusteella todettiin, että rakentamisen ja kunnossapidon päästöt korreloivat enemmän satama-alueen koon kanssa, kun taas käytön aikaiset päästöt korreloivat liikennemäärän kanssa. Rakentamisen ja kunnossapidon päästöt suhteutettiin näin ollen satama-alueen pinta-alaan ja käytön päästöt sataman tavaraj- ja henkilöliikenteen määrään. Lisäksi oletettiin, että yksi matkustaja vastaa yhtä tonnia tavaraa (Tarnanen-Sariola, 2011). Taulukossa 3 on esitetty case-kohteille lasketut suhdeluvut.

Taulukko 3. Case-kohteiden vuosittaiset päästöt elinkaarivaiheiden mukaisesti

Päästöjen jakautuminen	Rakentaminen (tCO ₂ /ha/v)	Käyttö (tCO ₂ /t/v)	Kunnossapito (tCO ₂ /ha/v)
Irtolasti: Raahe	7	0,0005	9
Kpl/yks.tavara: Vuosaari	11	0,0015	13
Matkustaja: Länsiterminaali	4	0,0003	6
Nestebulk: Naantali	17	0,0005	30

Kaikille talvisatamille laskettiin päästöt kertomalla rakentamisen ja kunnossapidon päästöt kunkin sataman alueen pinta-alalla. Käyttövaiheen päästöt laskettiin kertomalla suhdeluku sataman liikennemäärällä (tavaratonnit ja matkustajat). Oulun sataman päästöissä otettiin huomioon myös tavaraliikenteen jakautuminen irtolastitavaran ja nestebulkin välillä kertomalla suhdeluvut tavararyhmien prosenttiosuuksilla. Tulosten esittelyssä se luokiteltiin osaksi irtolastisatamia.

Tulokset

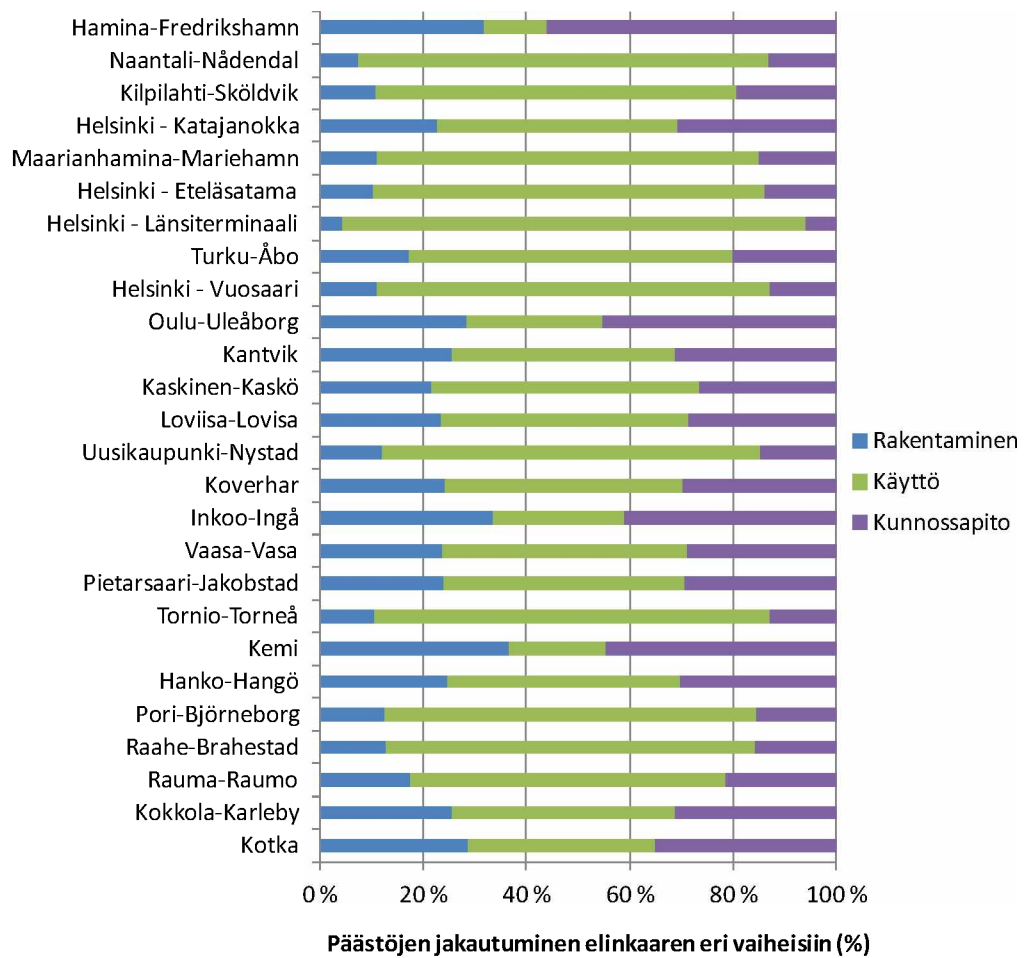
Taulukossa 4 on esitetty satamatyyppikohtaiset vuosipäästöt sekä talvisatamien yhteenlasketut päästöt. Muiden rannikon kauppamerenkulun väylien ja satamien päästöjen oletettiin edustavan 5 % kokonaispäästöistä, koska niiden liikennemäärät edustavat noin 5 % koko maan liikenteestä. Vuositasolla hiilijalanjäljeksi saatiin noin **150 000 tCO₂/v**. Satamien vuotuisten päästöjen keskiarvot vaihtelivat satamatyypeittäin välillä 1 900–15 000 tCO₂/v.

Taulukko 4. Suomen rannikon kauppamerenkulun väylien ja satamien hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki (tCO ₂ /v)	Rakentaminen	Käyttö	Kunnossapito	Yhteensä
Talvisatamat	29 539	71 648	41 253	142 441
<i>Irtolastisatamat</i>	<i>16 113</i>	<i>27 435</i>	<i>20 413</i>	<i>63 962</i>
<i>Kpl/yks.tavarasatamat</i>	<i>4 186</i>	<i>20 779</i>	<i>4 859</i>	<i>29 824</i>
<i>Matkustajasatamat</i>	<i>797</i>	<i>5 662</i>	<i>1 074</i>	<i>7 534</i>
<i>Nestebulk-satamat</i>	<i>8 442</i>	<i>17 772</i>	<i>14 908</i>	<i>41 122</i>
Muut satamat	1 477	3 582	2 063	7 122
Koko rannikon kauppamerenkulun väylät ja satamat	31 016	75 231	43 316	149 563

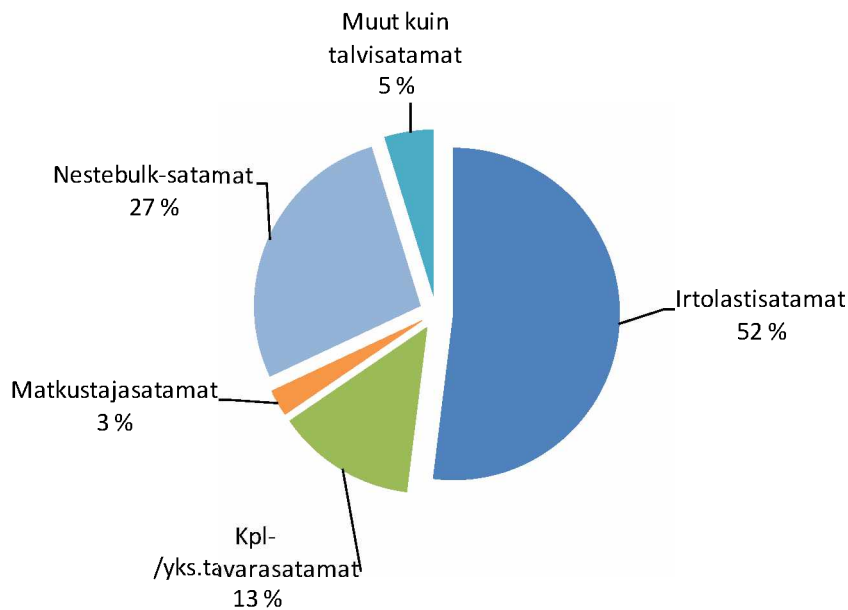
Rakentamisen ja kunnossapidon suhteellinen osuus kokonaispäästöistä on koko rannikon kauppamerenkulun tuloksissa suurempi (50 %) kuin case-kohteiden laskelmissa (10–28 %). Tämä johtuu siitä, että joidenkin satamien osalta satamankentän koko on erittäin iso, mutta sataman käsittelemä tavaramäärä jää pieneksi. Esimerkiksi Kemmin sataman maa-alue on kaksinkertainen Vuosaaren satamaan verrattuna, mutta tavaraliikenteen määrä on vain 30 % Vuosaaren tavaraliikenteestä. Rakentamisen ja kunnossapidon päästöt korostuvat sellaisissa satamissa, joissa sataman maa-alue on suuri suhteessa sataman kautta kulkevan liikenteen määrään.

Kuvassa 12 on esitetty päästöjen jakautuminen elinkaaren eri vaiheisiin eri satamissa. Joukosta erottuvat erityisesti Hamina, Oulu, Inkoo ja Kemi, joiden osalta rakentamisen ja kunnossapidon päästöt ovat merkittävästi käyttövaiheen päästöjä suuremmat.



Kuva 12. Päästöjen jakautuminen elinkaaren eri vaiheisiin satamissa

Kuvassa 13 on esitetty rannikon kauppamerenkulun hiilijalanjäljen jakautuminen satamatyypeittäin. Matkustajasatamien osuus päästöistä on hyvin pieni, vaikka näitä on lukumääräisesti enemmän kuin kappale-/yksikkötavarasatamia ja saman verran kuin nestebulk-satamia. Irtolastisatamien osuus hiilijalanjäljestä on hieman yli 50 %. Näiden satamien vuotuiset päästöt olivat keskimäärin hieman alle 3 800 tCO₂/v.



Kuva 13. Suomen rannikon kauppamerenkulun hiilijalanjäljen jakautuminen satamatyypeittäin

4.3 Virhearviot

Koko rannikon merenkulun hiilijalanjäljen laskemiseen case-laskelmien pohjalta liittyvät sekä case-laskelmiin että yleistysmalliin liittyviä virhelähteitä. Case-laskelmista johtuvia virhelähteitä ovat:

- case-kohteiden perusteella määritetyt epätarkat ominaispäästökertoimet ($\text{tCO}_2/\text{ha}/\text{v}$ ja $\text{tCO}_2/\text{t}/\text{v}$)
- case-kohteiden edustavuus koko rannikon kauppamerenkulun kannalta

Yleistysmallista johtuvia virhelähteitä ovat:

- luokituksen oletukset, joita tehtiin liikennemäärien ja satama-alueiden kokojen suhteen
- väylän pituuden huomiotta jättäminen
- muiden kuin talvisatamien päästöjen laskeminen perustuen niiden osuuteen liikennemäärästä

Epätarkat ominaispäästökertoimet. Case-laskelmiin sisältyy epätarkkuuksia monesta syystä, esimerkiksi puuttuvien ja epätarkkojen lähtötietojen vuoksi. Epävarmojen lähtötietojen takia jouduttiin tekemään paljon oletuksia, joiden paikkansapitävyyttä ei voitu tarkistaa. Lisäksi elinkaaritarkasteluihin liittyy epävarmuutta johtuen pitkästä tarkasteluajavälisestä (100 vuotta): sekä energian että materiaalien päästökertoimet muuttuvat tarkastelujakson aikana, eivätkä muutokset ole kovin hyvin ennakoitavissa. Myös kunnossapidon osalta pitkä tarkasteluajaväli on ongelmallinen, sillä kunnossapitotöiden tarpeellisuutta, toistuvuutta ja niiden vaatimia materiaalmääriä on vaikea ennustaa 100 vuodelle eteenpäin ja niiden jatkuminen nykyisellä tasolla on epätodennäköistä. Lisäksi satamien elinkaari on useissa tapauksissa enemmän kuin tarkasteltu 100 vuotta.

Case-laskelmien herkkyysharkastelujen pohjalta voidaan arvioida karkeasti, että lasketut hiilijalanjäljet satamille saattavat poiketa 100 vuoden aikana toteutuvista päästöistä jopa 40 %. Case-laskelmien päästöjen muutokset heijastuvat suoraan samansuuruisina (%) koko rannikon kauppamerenkulun päästölaskentaan.

Case-kohteiden edustavuus. Toinen case-laskelmiin liittyvä virhelähde on case-kohteiden edustavuus. Satamat yleisesti eroavat toisistaan erittäin paljon ja voidaan kysyä, onko ylipäänsä mahdollista olettaa yhden sataman voivan edustaa toisia, samanlaista liikennettä palvelevia satamia. Toisin kuin tie- ja ratarakenteet, jotka ovat melko vakiintuneita mitä tulee erilaisiin materiaaleihin ja niiden määriin tie- tai rata-metriä kohden, satamat ovat yksilöllisiä, harvoin rakennettavia alueita. Vaikka laituritakin on tyypitelty, niiden rakentamisvaiheet voivat erota paljon toisistaan. Rakentamisen osalta edustavuus on siten melko vaikea todentaa. Toisaalta, jos tarkastellaan suurinta päästölähdettä, eli käyttövaiheen työkoneiden polttoaineenkulutusta ja sataman energiankulutusta, on edustavuus näiden osalta case-kohteissa kattavampi. Työkoneiden polttoaineenkulutuksen voidaan olettaa korreloivan tavaraliikenteen määrän ja tavararyhmän kanssa. Lämmönkulutuksen todettiin analyysissä korreloivan matkustajaliikenteen määrän kanssa. Myös sähkönkulutuksen voidaan päätellä kasvavan sen mukaan, kun liikennemäärät satamassa kasvavat.

Tämän selvityksen case-kohteiden liikennemäärät yhteenlaskettuna kattavat 23 % kaikkien Suomen talvisatamien tavaraliikenteestä ja 30 % matkustajaliikenteestä. Jos hyväksytään satamien päästöjen yleistäminen luokituksen pohjalta, koko rannikon kauppamerenkulun hiilijalanjäljen kannalta case-kohteiden edustavuus on suhteellisen kattava. Näiden perusteella voisi arvioida edustavuuden puutteesta johtuvalle virhelähteelle alle 30 % virhemarginaalin.

Luokituksen oletukset. Koska kaikista talvisatamista ei ollut saatavilla tilastotietoja, jouduttiin tekemään oletuksia satama-alueiden kokoihin liittyen (Kilpilahti, Koverhar, Kantvik, Maarianhamina, Katajanokka ja Eteläsatama), sekä yhden sataman (Katajanokka) kohdalla myös tavaraliikenteen määrän suhteen. Näiden yhteensä kuuden sataman osuus koko rannikon kauppamerenkulun hiilijalanjäljestä on laskennan perusteella 16 %. Näistä Kilpilahden osuus on suurin (12 %). Kilpilahden arvioidun satamapinta-alan kaksinkertaistaminen nostaisi päästöjä 26 % ja puolittaminen vähentäisi päästöjä 13 % kyseisen sataman osalta. Vaikutukset koko rannikon kauppamerenkulun päästöihin olisivat alle 5 %. Katajanokan tavaraliikenteen määrään arvioimiseksi tehdyt oletukset eivät vaikuttaisi juuri ollenkaan tuloksiin: mikäli tarkastellaan tilanteita, joissa tavaraliikenne olisi arvioitu 10 % liian pieneksi tai suureksi, vaikutukset päästöihin olisivat 3 %. Ottaen huomioon, että Katajanokan päästöjen osuus koko rannikon kauppamerenkulun päästöistä on vain 0,5 %, ei tämäkään oletus johda suuriin virheisiin. Luokitukseen liittyvien oletusten virhemarginaaliksi arvioidaan näin ollen alle 10 %.

Väylän pituus. Yleistysmallissa eri satamaluokille määritellyt päästöt eivät ota huomioon eri satamien väylien pituutta. Päästöt on suhteutettu vain liikennemääriin ja satama-alueiden kokoihin. Tähän päädyttiin siksi, että case-kohteiden laskennassa todettiin väylien pituuden vaikuttavan lähinnä väylän ruoppauksen, turvalaitteiden sekä kunnossapidon päästöihin. Näiden kaikkien osuus elinkaari-päästöistä jää muutamien prosenttien, joten väylän pituudella ei katsottu olevan merkittävää vaikutusta laskentaa yleistettäessä.

Muiden satamien hiilijalanjälkien arviointi. Laskennan yleistyksessä muiden kuin talvisatamien osuuden koko rannikon kauppamerenkulun hiilijalanjäljestä oletettiin liikennemäärien perusteella olevan 5 %. Käyttövaiheen osalta, jonka aikana suurin osa päästöistä syntyy, tämä on looginen oletus. Pientä liikennemäärää palvelevat satamat kuluttavat myös polttoainetta, sähköä ja lämpöä pieniä määriä. Vähäliikenteinen satama on kuitenkin aikoinaan rakennettu ja jonkinlaista kunnossapitoa sielläkin tehdään. Virhelähdettä pyrittiin arvioimaan laskemalla vuosittaiset päästöt kolmelle rannikon irtolastisatamalle, jotka eivät ole talvisatamia: Kristiinankaupunki 300 tCO₂/v, Tolkkinen 200 tCO₂/v ja Merikarvia 60 tCO₂/v. Muita kauppamerenkulun rannikkosatamia on kymmenkunta. Jos kaikille näille oletetaan Kristiinankaupungin suuruiset päästöt, näiden yhteenlaskettu osuus koko rannikon kauppamerenkulun päästöistä jää reilusti alle 5 %. Voi siis hyvin olla, että arvioitu 5 % on jopa hieman yliarvioitu, mutta virhemarginaali on joka tapauksessa alle 10 % luokkaa.

Yhteenveto. Selkeästi merkittävimmät arvioitavissa olevista virhelähteistä ovat case-laskelmien epätarkat ominaispäästökertoimet sekä case-kohteiden edustavuus, joiden vaikutus voi olla jopa 40–50 % lopputuloksissa. Yleistysmalliin liittyvät virhelähteet ovat edellisten rinnalla huomattavasti pienemmät.

4.4 Hiilijalanjälkien vertailu

Tien- ja radanpidon sekä merenkulun hiilijalanjälkiä Suomen tie- ja rataverkon sekä rannikon kauppamerenkulun osalta on vertailtu taulukossa 5. Suomen koko maantieverkon hiilijalanjälki on miltei nelinkertainen rataverkon tai rannikon kauppamerenkulun hiilijalanjälkeen verrattuna.

Taulukko 5. Hiilijalanjälkien vertailu

Tunnusluku	Maantieverkko	Rataverkko	Rannikon kauppamerenkulku
Kokonaishiilijalanjälki (tCO ₂ /v)	511 000	142 000	150 000
Ominaispäästöt (tCO ₂ /km/v)*	3,4–46 ^a	8–43 ^a	46 ^b

^a tie- ja ratatyypikohtaiset keskiarvot

^b merenkulun ominaispäästö on laskettu jakamalla vuosittaiset kokonaispäästöt rannikon kauppamerenkulun väylien yhteispituudella 3 231 km (Naukkarinen, 2010)

Taulukosta nähdään, että merenkulku ja radanpito ovat likimain yhtä hiili-intensiivisiä, mutta tienpito aiheuttaa selkeästi muita kulkumuotoja enemmän päästöjä. Ominaispäästöjä tarkasteltaessa nähdään, että merenkulun päästöt väyläkilometriä kohden ovat samaa luokkaa kuin raskaimmat tiet ja radat. Tosin rannikon kauppamerenkulkua ei suoraan voi verrata näihin, sillä päästöt aiheutuvat merenkulussa pääasiassa satamissa eikä väylillä, joten ominaispäästöt eivät ole täysin vertailukelpoisia väyläkilometrien suhteen. Satamat ovat periaatteessa tavaraliikenteen terminaaleja siinä missä ratapihatkin (Uudenmaan liitto, 2007). Ratapihojen päästöiksi laskettiin tien- ja radanpidon hiilijalanjälkiselvityksessä yhteensä 56 000 tCO₂/v (Hagström et al., 2011). Tässä suhteessa rannikon kauppamerenkulku on hiili-intensiivisempää. Toisaalta merikuljetusten osuus koko maan ulko- ja koti-

maan tavaraliikenteestä on noin 19 %, kun taas rataverkon osuus on alle 10 % (Liikennevirasto, 2011e). Satamilla on suhteutettuna kuljetustonneihin hieman pienempi hiilijalanjälki kuin ratapihoilla.

Päästöjen havainnollistamiseksi voidaan myös vertailla satamarakentamisen ja tierakentamisen päästöjä keskenään. Kun tiedetään paljonko erilaisten teiden rakentaminen aiheuttaa päästöjä tiekilometriä kohden, voidaan näitä verrata sataman rakentamisen päästöihin. Taulukossa 6 on esitetty tämän analyysin tulokset sekä karkeat arviot siitä, kuinka monta tiekilometriä erilaisten satamien rakentaminen vastaisi.

Taulukko 6. Satamien ja teiden rakentamisen päästöjen vertailu

Tien rakentaminen		Valtatie	Moottoritie	Seututie	Yhdystie
Päästöt (tCO ₂ /km)		937	2 624	360	268
Sataman rakentaminen	tCO ₂	Tiekilometrit joita voisi rakentaa sataman sijaan			
Kpl-/yks.tavarasatama (Vuosaari)	167 453	179	64	465	624
Matkustajasatama (Länsiterminaali)	9 967	11	4	28	37
Nestebulk-satama (Naantali)	40 931	44	16	114	153
Irtolastisatama (Raahe)	49 165	52	19	136	183

Tuloksista nähdään, että esimerkiksi Vuosaaren rakentamisen päästöt vastaavat päästöjä, joita syntyisi 64 km moottoritien rakentamisesta. Valtateitä voitaisiin puolestaan rakentaa 179 km. Jos tuloksia verrataan aiemmassa tienpidon hiilijalanjälkilaskennassa käytettyihin case-kohteisiin, voidaan todeta, että Naantalın sataman rakentamisen päästöt olivat lähes samaa suuruusluokkaa kuin kaksi Hanko–Skogby-valtatien pituista (20,7 km) tietä. Vastaava analyysi voidaan tehdä myös rautateihin, jonka tulokset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Satamien ja rautateiden rakentamisen päästöjen vertailu

Rautatien rakentaminen		2- tai useampiraiteinen, sähköistetty	1-raiteinen, sähköistetty	1-raiteinen, sähköistämätön, uudemmalla kiskoprofiililla	1-raiteinen, sähköistämätön, vanhemmalla kiskoprofiililla
Päästöt (tCO ₂ /km)		2 552	696	373	618
Sataman rakentaminen	tCO ₂	Ratakilometrit joita voisi rakentaa sataman sijaan			
Kpl-/yks.tavarasatama (Vuosaari)	167 453	66	241	448	271
Matkustajasatama (Länsiterminaali)	9 967	4	14	27	16
Nestebulk-satama (Naantali)	40 931	16	59	110	66
Irtolastisatama (Raahe)	49 165	19	71	132	80

Vuosaaren sataman rakentaminen vastaa päästöiltään suurin piirtein samaa suuruusluokkaa kuin Kerava-Lahti -oikoradan rakentaminen, jonka pituutena laskennassa käytettiin 56 km. Esimerkiksi Länsiterminaalin rakentamisen päästöt vastaavat päästöjä, jotka syntyisivät neljä kilometriä pitkän sähköistetyn, kaksi- tai useampiraiteisen rautatien rakentamista.

Kokonaisvaltaisempi vertailu voidaan tehdä, kun myös liikenteen päästöt otetaan huomioon. Merenkulun liikenteen hiilijalanjäljeksi on laskettu noin 2,8 MtCO₂/v (MEERI, 2010). Merenkulun infrastruktuurin osuus merenkulun kokonaispäästöistä on siten vain noin 5 %. Tarkempi liikenteen päästöjen laskenta on kuvattu tämän raportin osassa 2. Tässä yhteydessä on tehty myös kattavampi kolmen kulkumuodon välinen vertailu.

5 Hiilijalanjäljen laskentatyökalu

5.1 Työkalun käyttötarkoitus ja oletuskäyttäjät

Tässä hankkeessa kehitettyä laskentatyökalua on tarkoitus käyttää merenkulun infrastruktuurin rakentamisen ja kunnossapidon suunnittelun ja toimenpiteiden priorisoinnin apuvälineenä. Samanlaiset työkalut kehitettiin tien- ja radanpidon hiilijalanjälkien laskentahankkeessa tie- ja ratainfrastruktuureille. Muita samanlaisia työkaluja ei ole Suomessa aiemmin kehitetty. Työkalun avulla on mahdollista lisätä suunnittelijoiden ymmärrystä erilaisten toimenpiteiden ja suunnitteluratkaisujen merkityksestä hiilijalanjälkiin. Lisäksi voidaan tarkastella kustannustehokkaita keinoja pienentää merenkulun CO₂-päästöjä.

Työkalu on suunnattu erityisesti satamahankkeiden suunnittelijoille. Työkalua voidaan myös käyttää väylähankkeiden suunnitteluun väylän ruoppauksen osalta, mutta tässäkin tapauksessa työkalu pohjautuu jonkin case-kohteen laskentaan, jossa on myös satama huomioon otettuna.

5.2 Työkalun perusratkaisu

Tässä hankkeessa luotiin työkalu, jolla voidaan karkealla tasolla tarkastella merenkulun hiilijalanjälkeä elinkaarinäkökulmasta. Monessa kohtaa käytettiin keskiarvoistavaa lähestymistapaa ja yksinkertaisia (lineaarisia) malleja tarkemman tiedon puuttuessa. Työkalun perusratkaisu on seuraava:

- Laskelmien pohjana ovat tässä raportissa aiemmin selostetut case-laskelmat ja satamien luokittelu (joka tehtiin koko maan yleistäviä laskelmia varten).
- Työkalun käyttäjä valitsee ensiksi satamatyyppin. Sen perusteella työkalu määrittää case-laskelman, johon pohjautuen suunniteltava tai tarkasteltava satamahanke käsitellään. Oletustulostuksena työkalu antaa kyseisen case-laskelman keskeiset tulokset.
- Tämän jälkeen käyttäjä voi muuttaa tiettyjen parametrien arvoja vastaamaan omaa hankettaan ja tehdä vaihtoehtolaskelmia (esim. eri satama-alueiden suuruuksista) ja herkkyystarkasteluja (esim. materiaalien kuljetusetaisyyskseen suhteen).
- Työkalu toteutettiin taulukkolaskentaohjelmalla (Excel) ja se toimitettiin Liikennevirastolle käyttöopastuksen kera. Työkalun dokumentointi toteutettiin ensisijaisesti suoraan työkalun sisään ja toissijaisesti tähän raporttiin (case-laskelmat ja tämä luku). Erillistä käyttöohjedokumenttia ei laadittu.

Laajoja ja monimutkaisia kokonaisuuksia, kuten merenkulun infrastruktuuria, mallintavien laskentatyökalujen kehittäminen on pitkä, interaktiivinen prosessi. Siksi työkalun jatkokehittäminen on välttämätöntä, kun pyritään saamaan aikaan monipuoliset, tarkat, käyttäjäystävälliset ja helposti päivitettävät työkalut.

5.3 Merenkulun hiilijalanjäljen laskentatyökalu

Työkalun pohjana ovat luvussa 3 esitetyt case-laskelmat, jotka kattoivat neljä eri satamatyyppiä. Käyttäjän muunneltavissa olevat parametrit on työkalussa ryhmitelty sen mukaisesti, mihin merenkulun pääprosessiin ne liittyvät:

- rakentaminen:
 - väylän ruoppausten määrä
 - ruoppausmassojen kuljetusetäisyys
 - satama-alueen ruoppausten määrä
 - satama-alueen pinta-ala
 - maanrakennusmassojen kuljetusetäisyys
 - asfaltoidun kenttäalueen pinta-ala
 - kulmatukimuurilaitureiden yhteispituus
 - ponttiseinälaitureiden yhteispituus
 - arkkulaitureiden yhteispituus
 - teräspaalujen kuljetusetäisyys
 - arkkulaiturin kuljetusetäisyys
- käyttö:
 - työkoneiden polttoaineenkulutus
 - sähkönkulutus
 - lämmönkulutus
- kunnossapito:
 - väylän pituus
 - materiaalien ja komponenttien eliniät
 - kunnostusruoppausten toistuvuus
- päästökertoimet
- laskennan muut oletukset

Laskentatyökalussa yllä mainittujen parametrien vaikutusta hiilijalanjälkeen on mallinnettu seuraavasti:

Rakentamisen parametreista väylän ruoppausten määrä vaikuttaa suoraan *wäylän ruoppaukset* -prosessiin. Suunnittelija voi tässä vaikuttaa myös ruoppausmassojen kuljetusetäisyyteen eli matkaan ruoppauspaikalta läjitysalueelle. Koska on oletettu, että vedenalaisten louhintamateriaalien kuljetusetäisyys on 50 % ruoppausmassojen kuljetusetäisyydestä, vaikuttaa ruoppausmassojen kuljetusetäisyys myös vedenalaisen louhinnan päästöihin *maanrakennus-* ja *laiturit*-prosesseissa. Satama-alueen ruoppausten määrä vaikuttaa suoraan *maanrakennus-* ja *laiturit*-prosesseissa tehtävien ruoppausten määrään. Ruoppausmassojen jakautumisen näiden prosessien välillä oletetaan toteutuvan samassa suhteessa kuin alkuperäisissä case-laskelmissakin. Satama-alueen pinta-ala vaikuttaa lineaarisesti *maanrakennus*-prosessiin, mutta myös työkalun tuottamiin suhteellisiin tunnuslukuihin, joissa päästöt jaetaan suhteessa satama-alueen pinta-alaan. Eri maa-ainesten osuudet maanrakennusmassoista ovat samat kuin käyttäjän laskennan taustaksi valitsemassa case-kohteessa. Maanrakennusmassojen kuljetusetäisyydet vaikuttavat *maanrakennus*-prosessiin. Työkalu

laskee *satamakentän rakentaminen* -prosessin materiaalmäärät perustuen asfaltoidun kenttäalueen pinta-alaan. Tällä parametrilla on myös vaikutuksia kunnossapitoon: satamakentän *kunnossapidon* talvihoidon päästöt määräytyvät satamakentän pinta-alan mukaisesti, ja *ylläpitoinvestointien* materiaaleihin ja työkaluiden käyttöön liittyvät laskelmat käyttävät satamakentän pinta-alaa laskennan oletuksena. Laitureiden päästöjä on työkalussa mahdollista tarkastella niiden kolmen eri laitureityypin kautta, joita case-laskelmissa esiintyy: kulmatukimuurilaituri, ponttiseinälaituri sekä arkkulaituri. Näiden päästövaikutuksia voidaan tarkastella muuttamalla kunkin laiturin pituutta. Käyttäjä voi kuitenkin muokata vain sellaisia laitureita, joita valitussa satamatyypissä on jo valmiiksi. Jos lähtökohdaksi valitussa satamassa ei ole ollut ollelkaan arkkulaitureita, työkalussa ei toistaiseksi voi sellaista lisätä. Tällöin käyttäjä voi muuttaa vain olemassa olevien laitureiden tietoja tai poistaa näitä. Käyttäjän muokkaama laituripituus vaikuttaa *laiturit*-prosessin materiaalmääriin lineaarisesti, ja materiaalien suhteiden toisiinsa oletetaan pysyvän samana kuin alkuperäisessä case-laskelmassa.

Käytön osalta käyttäjä voi suoraan määrittää työkaluiden polttoainekulutuksen sekä sataman käyttämän sähkön- ja lämmönkulutustiedot. Nämä tiedot syötetään työkaluun suoraan litroina tai megawattitunteina.

Kunnossapidon parametreista väylän pituus vaikuttaa lineaarisesti *kunnossapidon* hiilidioksidipäästöihin eli väylällä tehtäviin korjauksiin ja kunnostusruoppauksen määrään. *Kunnossapito*-prosessiin vaikuttaa myös yllä mainittu satamakentän pinta-ala. *Ylläpitoinvestointien* päästöihin vaikuttavat eri materiaaleille ja komponenteille määritellyt eliniät, joita työkalun käyttäjä voi muuttaa. Lisäksi ylläpitoinvestointien materiaalmäärät poimivat kaikista rakentamisen prosesseista paitsi väylän ruoppauksesta lähtötietoa elinkaari- ja päästöjen määrittämiseksi. Lähes kaikki työkalun parametrit siis heijastuvat ylläpitoinvestointien päästöihin.

Työkalussa käytettäviä **päästökertoimia** on lähes neljäkymmentä (mm. energialle, työkaluille, materiaaleille). Käyttäjän ei tarvitse muokata näitä parametreja, ellei hänellä ole laadukasta, tuoreempaa ja ennen kaikkea tapauskohtaisesti luotettavampaa tietoa, joka poikkeaa työkalussa olevasta. Päästökertoimille jätettiin kuitenkin muokausmahdollisuus, jotta tulevat muutokset energiantuotannossa, työkaluiden käytämissä polttoaineissa ja materiaalien valmistuksen ominaispäästöissä voitaisiin ottaa laskelmissa huomioon. Päästökertoimien vaikutukset laskennassa ulottuvat yleisesti kaikkiin prosesseihin.

Käyttäjän on myös mahdollista muokata **kaikkia muitakin laskennassa käytettäviä oletuksia**. Näitä tehtiin niin kuljetus- ja logistiikkien, työkaluiden ja materiaalien päästöjen laskennassa. Kuten päästökertoimia, näitä oletuksia ei tarvitse muokata, ellei parempaa, tapauskohtaista tietoa ole saatavilla.

Laskentatyökalua on tarkoitus käyttää ottaen huomioon tässä raportissa esiin tuodut, case-kohteita koskevat oletukset ja rajaukset.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä laskettiin hiilijalanjälki neljälle suomalaiselle kauppamerenkulun satamalle ja näihin johtaville meriväylille sadan vuoden tarkastelujaksolla. Case-laskelmien ja tilastotietojen pohjalta rannikon muut talvisatamat luokiteltiin neljään luokkaan: matkustajasatamat, kappale-/yksikkötavarasatamat, irtolastisatamat ja nestebulk-satamat. Luokituksen perusteella arvioitiin koko rannikon kauppamerenkulun infrastruktuurin hiilijalanjälki. Liikennemääriltään pienistä, talvella käytöstä pois olevista satamista ei tehty satamakohtaista laskentaa, vaan näiden osuus arvioitiin suhteessa niiden liikennemäärien osuuteen koko rannikon kauppamerenkulun liikenteestä. Sisävesiväylät ja -satamat rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Case-laskelmien pohjalta rakennettiin myös Excel-työkalu, jonka avulla on mahdollista arvioida satamien eri ominaisuuksien vaikutusta hiilijalanjälkeen.

Merenkulun energia- ja materiaali-intensiiviset prosessit jaoteltiin elinkaaren perusteella kolmeen osaan: rakentamiseen, käyttöön ja kunnossapitoon. Elinkaaripäästöt määriteltiin tässä työssä siten, että 1) nykyiset satamat ja väylät oletettiin rakennetun aivan äskettäin sellaiseksi kuin ne nyt ovat, ja 2) käytön ja kunnossapidon päästöjä arvioitiin tästä hetkestä sata vuotta eteenpäin perustuen nykyisiin kunnossapitotoimenpiteisiin. Lisäksi oletettiin satamien ja väylien käytön ja kunnossapidon jatkuvan edelleen sadan vuoden jälkeenkin, jolloin käytöstä poistoa tarkastelujakson päätteeksi ei tapahdu. Käytöstä poisto rajattiin siksi laskelmien ulkopuolelle.

Case-laskelmiin valittujen satamien ja väylien elinkaaripäästöistä suurin osa syntyy käytönaikaisesta energiankulutuksesta. Kaikissa satamatyypeissä päästöjen suurin lähde oli joko sataman työkoneiden kuluttama polttoaine tai sataman käyttämä sähkö. Itse satamien ja väylien rakentamiseen käytetyt materiaalit, niiden kuljetukset ja asennukset eivät case-laskelmissa vaikuta merkittävästi elinkaaripäästöihin. Tämä tulos eroaa merkittävästi tien- ja radanpidon case-laskelmien tuloksista, joissa nimennomaan infrastruktuurien rakentamiseen vaadittavien materiaalien valmistus on merkittävin päästölähde (Hagström et al., 2011).

Suomen koko rannikon kauppamerenkulun (35 satamaa ja noin 3 230 väylä-km) hiilijalanjäljeksi sadan vuoden tarkastelujaksolla saatiin keskimäärin noin 150 000 tCO₂/v. Satamakohtaisesti päästöt vaihtelevat välillä 1 900–15 000 tCO₂/v. Verrattuna tien- ja radanpitoon, merenkulku on likimain yhtä hiili-intensiivistä kuin radanpito, mutta alle kolmannes tienpidon ilmastomuutosvaikutuksesta. Päästöjen vertailussa on otettava huomioon kuitenkin selkeät erot merenkulun ja tien- ja radanpidon välillä: merenkulussa infrastruktuurin päästöt syntyvät satamissa, kun taas tien- ja radanpidossa kulkuväylällä. Koko rannikon kauppamerenkulun hiilijalanjäljestä muodostuu 20 % rakentamisen aikana, 50 % käytön aikana ja 30 % kunnossapidon aikana. Merenkulun yleistysmallin tulokset osoittavat lisäksi, että rakentamisen ja kunnossapidon päästöt nousevat käyttövaiheen päästöjä suuremmiksi sellaisissa satamissa, joilla on liikenteen määrän nähden suuri maa-alue käytössään.

Koska merenkulun hiilijalanjälkeen vaikuttaa eniten käytön aikainen energiankulutus, infrastruktuurin päästöihin voidaan vaikuttaa tehokkaimmin valitsemalla energiatehokkaampia työkoneita lastin käsittelyyn, parantamalla kiinteistöjen energiatehokkuutta sekä hyödyntämällä mahdollisuuksien mukaan uusiutuvia energialähteitä. Materiaalien, hankintapaikkojen ja kuljetusvälineiden valinnalla voidaan myös vaikuttaa päästöihin, mutta näiden vaikutukset kokonaiselinkaaripäästöihin ovat pienet.

Vanhojen olemassa olevan satamien ja väylien rakentamisesta ja niiden hiilijalanjäljistä saatiin tämän tutkimuksen avulla lähinnä suuntaa-antavia tuloksia tietopuutteiden vuoksi. Tulokset kuitenkin kertovat suuruusluokista, joita voidaan karkeasti verrata tien- ja radanpidon päästöihin. Kunnossapidon osalta tuloksissa on epävarmuutta johtuen selvityksessä käytettävästä pitkästä aikaperspektiivistä. Pitkällä aikavälillä on vaikea ennakoida toteutuvia kunnossapidon tarpeita sekä energia- ja materiaalipäästökertoimien muutoksia. Laskelmissa tehtiin runsaasti rajoituksia ja oletuksia johtuen sekä tietopuutteista että kyseessä olevien prosessien tai materiaalien vähäisestä merkityksestä hiilijalanjäljen kannalta. Satamat ovat infrastruktuureiltaan hyvin yksilöllisiä, joten arvioiden tekeminen toisen sataman tietojen perusteella on vaikeaa. Case-kohteista ei yleisesti ollut paljonkaan dokumentoitua tietoa saatavilla, mutta voidaan luotettavasti arvioida, että valtaosa rakentamisen ja kunnossapidon materiaaleista on otettu huomioon laskennassa. Käytönaikaista energiankulutusta koskevat tiedot ovat pääosin luotettavista lähteistä ja nämä kuitenkin muodostavat suurimman osan päästöistä.

Jatkossa tehtävien hiilijalanjäljen laskentapäivitysten tarkkuutta pystyttäisiin parantamaan, jos satamat raportoisivat tarkemmin toteutetuista kunnossapitohankkeista ja investoinneista. Myös energian ja polttoaineiden osalta käytettyjä loppukäyttöpäästökertoimia voisi laskurin jatkokehityksen yhteydessä korvata elinkaaripäästökertoimilla ja materiaalipäästökertoimia tuotepäästökertoimilla, kun luotettavaa tietoa on riittävän kattavasti saatavilla.

OSA 2 Tie-, rata- ja meriliikenteen hiilijalanjäljet

7 Johdanto

7.1 Tausta

Liikennevirastossa käynnistettiin vuonna 2010 hiilijalanjälkihanke, joka edistää viraston keskeistä strategista tavoitetta pienentää liikenteen ympäristöjalanjälkeä. Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa laskettiin tien- ja radanpidon hiilijalanjäljet neljälle rataosuudelle, kolmelle ratapihalle ja neljälle tieosuudelle sadan vuoden tarkastelujaksolla. Laskelmissa tarkasteltiin rakentamisen, käytön ja kunnossapidon aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Näiden laskelmien ja tilastotietojen pohjalta arvioitiin koko Suomen maantie- ja rataverkon hiilijalanjäljet. Hankkeen toisessa vaiheessa tarkasteltiin merenkulun satamien ja väylien rakentamisen, käytön ja kunnossapidon hiilijalanjälkeä. Nämä tulokset esitettiin tämän raportin ensimmäisessä osassa.

Tien- ja radanpidon infrastruktuurien hiilijalanjälkilaskennat ja julkiset liikennepäästötillastot (mm. VTT:n LIPASTO) osoittavat, että liikenteen infrastruktuurin rakentaminen ja kunnossapito ovat päästöiltään selvästi pienempiä kuin varsinaiset liikenteen päästöt. Jotta eri liikennemuotoja voidaan verrata toisiinsa, on laskelmiin sisällytettävä myös liikenteen päästöt. Tämä raportin toinen osa esittelee liikenteen hiilijalanjälkiselvityksen tulokset. Selvityksen tavoitteena oli vastata erityisesti seuraaviin kysymyksiin:

- Kuinka suuret ovat infrastruktuurin rakentamisen ja kunnossapidon päästöt suhteessa liikennöinnin päästöihin?
- Kuinka suuret ovat liikenneverkon päästöt koko Suomen tasolla?
- Miten eri kulkumuotojen päästöt eroavat toisistaan?

Tämän selvityksen tulokset on integroitu myös tien- sekä radanpidon että merenkulun hiilijalanjäljen laskentatyökaluihin.

7.2 Lähestymistapa ja toteutus

Liikenteen päästöjen selvittämiseksi tunnistettiin ensin liikennöinnin päästöjen lähteet ja luokiteltiin ne *primäärisiksi* ja *sekundäärisiksi*. Tieliikenteen primäärisillä päästöillä tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjä, jotka syntyvät väyläalueella ajoneuvojen polttoaineenkulutuksesta. Rautatieliikenteessä primäärisiksi päästöiksi luetaan junien sähkön ja dieselpolttoaineen kulutuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Meriliikenteen primäärisiä päästöjä ovat erilaisten meriväylillä liikennöivien alusten polttoaineenkulutuksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt.

Sekundäärisillä päästöillä tarkoitetaan tässä selvityksessä liikennettä tukevien toimintojen päästöjä, jotka eivät sisälly infrastruktuurien rakentamisen, käytön ja kunnossapidon laskentarajauksiin (ks. Hagström et al., 2011 sekä merenkulun infrastruktuurin laskenta tämän raportin ensimmäisessä osassa). Tieliikenteen sekundäärisiin

päästöihin on sisällytetty kasvihuonekaasupäästöt, jotka aiheutuvat huoltoasemien ja linja-autovarikoiden käytön aikaisesta energiankulutuksesta sekä levähdys- ja pysäköimisalueiden rakentamisesta, käytöstä ja kunnossapidosta. Rautatieliikenteessä sekundäärisiksi päästöiksi luetaan juna-asemien, rautatievarikoiden ja muiden VR-konsernin kiinteistöjen energiankulutuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Meriliikenteen osalta ei tunnistettu sekundäärisiä päästöjä, joita ei olisi sisällytetty infrastruktuurin rakentamisen ja kunnossapidon päästölaskentaan (ks. raportin ensimmäinen osa).

Infrastruktuurin elinkaarilaskennassa päästöt määritettiin erikseen infrastruktuurin rakentamiselle, käytölle ja kunnossapidolle. Rajanveto infrastruktuurin käytön ja liikennettä tukevien toimintojen (sekundääriset päästöt) välillä on joissakin tapauksissa vaikeaa. Esimerkiksi raiteiden vaihteenlämmitys on laskettu osaksi ratainfrastruktuurin käyttöä, vaikka se tukee nimenomaan liikennöintiä. Syynä tähän oli laskennassa käytetyt sähkönkulutuksen lähtötiedot, joista ei voitu luotettavasti erotella vaihteenlämmitystä muusta sähköstä. Toinen esimerkki on satamaoperointi: satamien työkooneiden kuluttama polttoaine on laskettu infrastruktuurin käyttöön, vaikka tämäkin palvelee yksinomaan liikennöintiä. Työkoneet päätettiin silti sisällyttää satamainfrastruktuurin laskentaan, koska toisin kuin teillä ja radoilla, työkoneet palvelevat satamissa yleensä vain yhtä kohdetta. Tärkeintä laskennan kannalta on kuitenkin se, että kaikki olennaiset päästölähteet on otettu huomioon eikä laskennassa ole päällekkäisyyksiä.

Päästölähteiden tunnistamisen ja luokittelun jälkeen kullekin päästölähteelle määriteltiin laskentamenetelmä, jonka avulla voitiin luotettavasti arvioida päästöt koko maan tasolla. Primääriset ja sekundääriset päästöt laskettiin koko Suomen liikenneverkolle (tie, rata, merenkulun väylät). Lisäksi primääriset päästöt suhteutettiin vielä liikenneverkkojen kokoihin. Lopuksi eri kulkumuotojen liikennöinnin sekä infrastruktuurin päästöjä vertailtiin keskenään ottaen huomioon mahdolliset virhelähteet.

Päästöjen yksikkönä käytettiin hiilidioksidiekvivalenteja ($\text{tCO}_2\text{-ekv./v}$) niiden päästöjen osalta, joiden päästökertoimet tämän mahdollistivat. Muuten käytettiin hiilidioksidipäästöjä (tCO_2/v) tulosten yhdenmukaisuuden säilyttämiseksi.

Tämä raportin toisen osan luku 2 esittelee kulkumuotokohtaiset liikenteen päästöt, tulosten vertailun, virhearviot sekä johtopäätökset. Luku 3 sisältää päästöjen arvioinnin koko Suomen liikenneverkon tasolla ja luku 4 vetää yhteen tulokset ja esittelee johtopäätökset.

8 Liikenteen päästöt

8.1 Tieliikenteen päästöt

Tieliikenteen päästöihin sisällytetään ajoneuvojen polttoainekulutuksesta (primääriset päästöt), huoltoasemien ja linja-autovarikoiden käytön aikaisesta energiankulutuksesta sekä levähdys- ja pysäköimisalueiden rakentamisesta, käytöstä ja kunnossapidosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt.

Tieliikenteen terminaalit on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Terminaalit palvelevat kauppaa, teollisuutta ja logistiikkaa. Valtaosa niistä tarjoaa laajemmin myös varastointi- ja muita lisäarvopalveluita (Uudenmaan liitto, 2007), jolloin ei voida selkeästi määrittää, mitkä osat palvelevat yksinomaan liikennettä. Seuraavassa esitellään kunkin päästölähteen oletukset, lähtötiedot ja tulokset.

8.1.1 Primääriset päästöt: ajoneuvoliikenne

Oletukset ja lähtötiedot

Suomen maanteiden kokonaispituudet tietyypeittäin (valtatiet, kantatiet, seututiet ja yhdystiet) sekä liikennesuoritteet ajoneuvotyypeittäin on esitetty Liikenneviraston Tietilasto 2010 -julkaisussa (Liikennevirasto, 2011f). Kadut ja yksityistiet rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Tilastoissa ajoneuvotyyppit on jaoteltu seuraavasti: henkilöautot, pakettiautot, kuorma-autot ja linja-autot. Laskennassa oletettiin, että ajoneuvojakauma (ajoneuvo-km/tie-km) on sama kaikilla tietyypeillä, jolloin liikennemäärätieto on keskimääräinen tieto tietyyppejä kohden. Todellisuudessa ajoneuvotyyppikohtaisissa liikennemääräisissä on jonkin verran hajontaa eri tietyyppien ja maantieteellisten sijaintien välillä. Keskimääräiset luvut antavat kuitenkin riittävän tarkkuustason tämän selvityksen tarpeisiin. Jakauma on esitetty taulukossa 8.

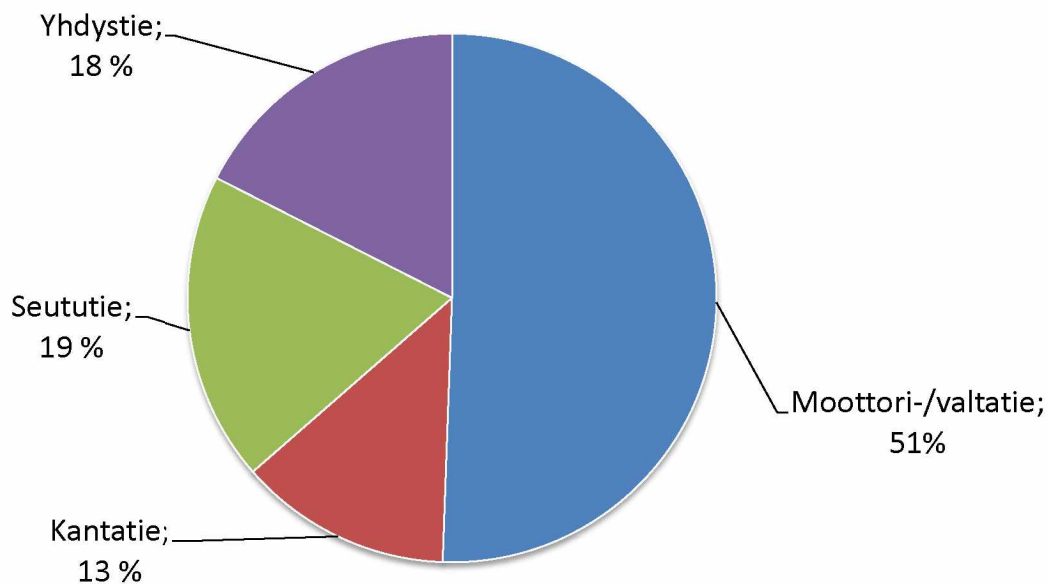
Taulukko 8. Ajoneuvosuoritteiden jakautuminen Suomen maanteillä

Ajoneuvo-km/tie-km	Moottori-/valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	Yhteensä	Osuus
Henkilöautot	1 810 727	838 398	428 978	104 675	3 182 778	85 %
Pakettiautot	151 017	69 923	35 777	8 730	265 447	7 %
Kuorma-autot	152 492	70 606	36 127	8 815	268 040	7 %
Linja-autot	24 186	11 199	5 730	1 398	42 513	1 %
Yhteensä	2 138 422	990 126	506 612	123 618	3 758 778	100 %

Ajoneuvojen päästökertoimien lähteenä käytettiin VTT:n LIPASTO-tietokantaa (VTT, 2009). Henkilö-, paketti- ja kuorma-autoille käytettiin maantieajolle määritettyjä kertoimia. Pakettiautosuoritteet oletettiin tehtävän keskimäärin 50 % kuormalla. Kuorma-autojen suoritteiden oletettiin jakautuvan tasan pienten ja suurten jakelukuorma-autojen sekä puoli- ja täysperävaunuyhdistelmien kesken. Jakelukuorma-autojen kuorman oletettiin olevan keskimäärin 50 % ja perävaunuyhdistelmien 70 %. Linja-autojen osalta oletettiin, että 70 % kaikista linja-autosuoritteista tehdään pitkän matkan linja-autoilla, joissa on keskimäärin 12 matkustajaa. 30 % suoritteista tehdään kaupunkilinja-autoilla, joiden keskimääräinen matkustajamäärä on 18.

Tulokset

Maanteillä syntyneet ajoneuvoliikenteen kokonaispäästöt olivat noin 8,1 miljoonaa tonnia CO₂-ekvivalenttia vuonna 2010. Päästöjen jakautuminen tietyypeittäin on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Ajoneuvoliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen tietyypeittäin vuonna 2010

Taulukossa 9 on kuvattu, miten vuosittaiset päästöt muodostuvat eri tietyypeittäin. Päästöt on esitetty tiekilometriä ja vuotta kohden. Koska laskennassa oletettiin ajoneuvokannan jakautumisen olevan vakio kaikilla tietyypeillä, ei eri tietyyppien ajoneuvokannan suhteellisissa jakaumissa synny eroja. Taulukosta nähdään, että suurin osa (64 %) ajoneuvoliikenteen päästöistä aiheutuu henkilöautoliikenteestä. Kuorma-autoille voidaan tehdä laskentaoletuksilla kohdentaa noin 25 %, pakettiautoille noin 7 % ja linja-autoille noin 4 % kokonaispäästöistä.

Taulukko 9. Ajoneuvoliikenteen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt tiekilometriä kohti vuonna 2010 jaoteltuna tie- ja ajoneuvotyyppin mukaan

tCO ₂ -ekv./tie-km/v	Moottori-/valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	Yhteensä
Henkilöautot	308	143	73	18	541
Pakettiautot	36	17	8	2	63
Kuorma-autot	118	55	28	7	208
Linja-autot	17	8	4	1	30
Yhteensä	479	222	114	28	842

8.1.2 Sekundääriset päästöt: liikenneasemat

Oletukset ja lähtötiedot

Liikenneasemat jaoteltiin tarkastelussa kolmeen tyyppiin: huoltoasemiin, automaattiasemiin sekä raskaan kaluston polttoaineen jakelupisteisiin (RKJ). Öljyalan keskusliitto ylläpitää tilastoa Suomen liikenneasemien määristä (taulukko 10). Laskennassa oletettiin, että 50 % raskaan kaluston jakelupisteistä sijaitsee huoltoasemien yhteydessä ja 20 % automaattiasemien yhteydessä; 30 % raskaan kaluston jakelupisteistä oletetaan olevan erillisiä.

Taulukko 10. Liikenneasemat Suomessa vuoden 2010 lopussa (Öljyalan Keskusliitto, 2010)

	Huolto- asemat	Automaatti- asemat	Erilliset raskaan kaluston jakelupisteet
ABC	125	280	0
Neste Oil	310	205	95
SEO	94	83	0
Shell/St1 Energy	158	50	47
St1	89	256	28
Teboil	139	196	63
Yhteensä	915	1 070	233

Eri liikenneasematyyppien sähkön ja lämmön ominaiskulutukset, lämmitystapaja-kaumat sekä huoltoasemien pinta-alat ovat keskiarvoja, jotka saatiin tämän tutkimuksen käyttöön Suomessa toimivalta huoltoasemaketjulta⁸. Sähkön ominaiskulutus on keskimäärin 400 kWh/m² ja lämmön 230 kWh/m². Lämmönkulutus otettiin huomioon pelkästään huoltoasemien tapauksessa. Huoltoasemien pinta-ala on keskimäärin noin 450 m² ja suurin osa niiden kuluttamasta lämpöenergiasta tuotetaan polttoöljyllä (n. 65 %). Polttoaineiden, sähkön ja kaukolämmön päästökertoimien lähteenä käytettiin Tilastokeskuksen julkaisemaa Energiatilasto Vuosikirja 2009:a (Tilastokeskus, 2009).

Tietyyppistä riippuvat liikenneasemien välimatkat perustuvat konsultin ja Liikenneviraston yhteisiin asiantuntija-arvioihin. Arvioissa otettiin huomioon tietyyppien ominaispiirteet ja kokonaispituudet. Arviot välimatkoista on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Arviot liikenneasemien välimatkoista eri tietyypeillä (RKJ = raskaan kaluston jakelupiste)

	tie-km	Huoltoasemien välimatka, km	Automaattiasemien välimatka, km	Erillisten RKJ:iden välimatka, km
Moottori-/valtatie	8 568	110	90	200
Kantatie	4 760	30	25	105
Seututie	13 537	82	75	320
Yhdystie	51 295	100	85	500
Yhteensä	78160			

Tulokset

Liikenneasemien sähkön- ja lämmönkulutuksesta aiheutuvat päästöt ovat noin 78 000 tCO₂/v vuoden 2010 asemamäärän perusteella laskettuna. Noin 84 % kokonaispäästöistä voidaan kohdentaa huoltoasemille, noin 15 % automaattiasemille ja 1 % erillisille raskaan kaluston jakelupisteille. Taulukossa 12 on esitetty keskimääräiset yhden liikenneaseman energiankulutuksesta aiheutuvat vuotuiset kasvihuonekaasupäästöt. Liikenneasemat on jaoteltu kolmeen edellä mainittuun kategoriaan.

⁸ Huoltoasemaketju ei halunnut nimeään julkaistavaksi.

Taulukko 12. Yhden liikenneaseman keskimääräiset energiankulutuksesta aiheutuvat vuosittaiset päästöt jaoteltuna liikenneasematyyppin ja päästölähteen mukaan

tCO ₂ /kpl/v	Sähkö	Lämpö	Yhteensä
Huoltoasemat (sis. mahdollisen RKJ:n)	47	25	72
Automaattiasemat (sis. mahdollisen RKJ:n)	11	0	11
Erilliset raskaan kaluston jakelupisteet	3	0	3

8.1.3 Sekundääriset päästöt: levähdys-, pysäköimis- ja lastausalueet

Oletukset ja lähtötiedot

Viranomaisten hallinnassa olevat levähdys-, pysäköimis- ja lastausalueiden lukumäärät saatiin Liikennevirastolta (Penttinen, 2011). Näiden pinta-alat arvioitiin yhdessä konsultin ja Liikenneviraston edustajien kanssa. Taulukossa 13 on esitetty levähdys-, pysäköimis- ja lastausalueiden pinta-alat sekä kohteiden jakautuminen suuriin ja pieniin alueisiin.

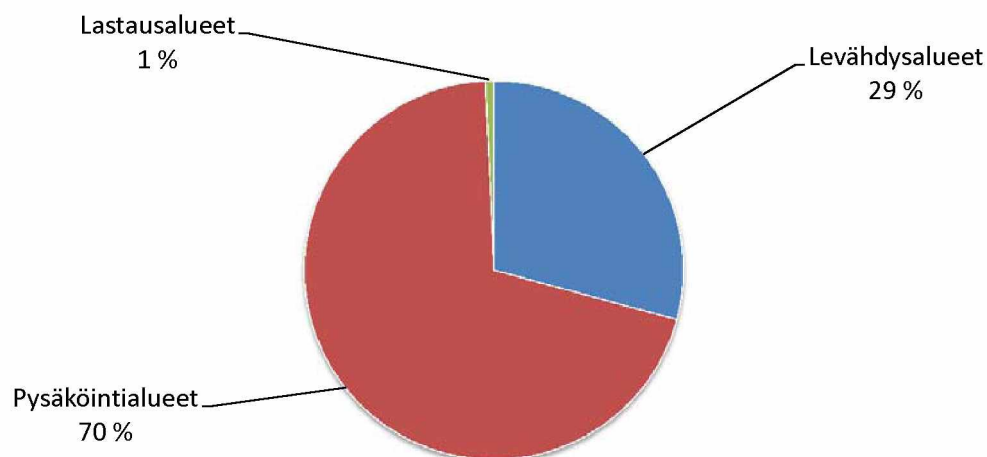
Taulukko 13. Levähdys-, pysäköimis- ja lastausalueiden pinta-alat

Alue	pienemmät alueet, pinta-ala keskimäärin, m ²	%-osuus	suuremmat alueet, pinta-ala keskimäärin, m ²	%-osuus	pinta-ala yhteensä, m ²	keskimääräinen pinta-ala, m ² /kpl
Levähdysalueet	5 000	80 %	9 000	20 %	1 925 600	5 800
Pysäköintialueet	1 000	50 %	2 000	50 %	4 621 500	1 500
Lastausalueet	500	100 %			47 000	500
Yhteensä					6 594 100	

Laskennassa oletettiin, että alueet sisältävät päällysteen lisäksi muita rakenteita saman verran kuin vastaava neliömäärä vähäliikenteistä maantietä (Penttinen, 2011). Laskennassa käytettiin referenssinä valtatieosuutta Hanko–Skogby (ks. Hagström et al., 2011). Alueiden päällysteen pinta-ala muodostui kaikesta siitä, mitä tarvitaan tien reunasta lähtien (erkanemisalue, erkanemisramppi, itse alue, liityntäramppi ja liityntäalue). Alueiden rakentamisen osalta otettiin huomioon maanrakennukseen, pohjanvahvistukseen ja teiden päällystämiseen käytettyjen työkalujen käyttö ja materiaalien valmistus. Kunnossapidon osalta otettiin huomioon korjaukset ja parannukset, talvihoito sekä muut kunnossapitotyöt. Myös alueiden valaistus sisältyi laskentaan käytön aikaisena päästölähteenä. Tarkastelujakso referenssikohteen (Hanko–Skogby) päästöjen laskennalle on 100 vuotta. Yllämainituista rakentamisen ja ylläpidon päästöt laskettiin yhdelle neliömetrille valtatieä. Tätä suhdelukua käytettiin levähdys-, pysäköimis- ja lastausalueiden päästöjen laskentaan hyödyntämällä niiden pinta-aloista kerättyä ja arvioitua tietoa.

Tulokset

Levähdys-, pysäköimis- ja lastausalueiden rakentamisesta, käytöstä ja kunnossapidosta aiheutuvat päästöt ovat tämän selvityksen laskentaoletuksilla noin 5 700 tCO₂/v. Päästöjen jakautuminen tarkasteltavien alueiden kesken on esitetty kuvassa 15. Noin 51 % kokonaispäästöistä aiheutuu rakentamisesta, noin 22 % käytöstä ja noin 27 % kunnossapidosta.



Kuva 15. Levähdys-, pysäköimis- ja lastausalueiden rakentamisesta, käytöstä ja kunnossapidosta aiheutuvien vuotuisen päästöjen jakautuminen alue-tyypeittäin

Taulukossa 14 on esitetty yhden alueen rakentamisesta, käytöstä ja kunnossapidosta aiheutuvat vuotuiset kasvihuonekaasupäästöt. Taulukosta nähdään, että levähdysalueiden keskimääräiset päästöt ovat tarkastelussa suurimmat. Tämä johtuu siitä, että ne ovat pinta-alaltaan usein huomattavasti muita tarkasteltavia alueita suurempia.

Taulukko 14. Yhden levähdys-, pysäköimis- ja lastausalueen keskimääräiset rakentamisesta, käytöstä ja kunnossapidosta aiheutuvat vuotuiset päästöt jaoteltuna alueen tyyppin ja päästölähteen mukaan

tCO ₂ /alue/v	Rakentaminen	Käyttö	Kunnossapito	Yhteensä
Levähdysalueet	2,5	1,1	1,4	5,0
Pysäköintialueet	0,7	0,3	0,4	1,3
Lastausalueet	0,2	0,1	0,1	0,4
Yhteensä	3,4	1,5	1,8	6,7

8.1.4 Sekundääriset päästöt: linja-autovarikot

Oletukset ja lähtötiedot

Linja-autovarikoilla tarkoitetaan kooltaan merkittäviä (enemmän kuin 10 autopaikkaa) linja-autojen säilytysalueita (Uudenmaan liitto, 2007). Varikoiden lukumäärien ja varikoiden kokoluokittelun lähteenä käytettiin julkaisua "Uudenmaan liikenteen varikot ja terminaalit – nykytila ja tarvekartoitus" (Uudenmaan liitto, 2007). Rekisterissä olevien linja-autojen lukumäärä on selvitetty Tilastokeskuksesta (Tilastokeskus, 2011). Linja-autovarikoiden sähkönkulutuksen arvioimiseksi saatiin VR:ltä tietoa kolmesta varikoista vuodelta 2010 (ks. taulukko 15). Tietojen perusteella varikot jaettiin pieniin, keski-suuriin ja suuriin varikoihin.

Taulukko 15. Kolmen linja-autovarikon ominaispiirteet (sähkön- ja lämmönkulutus-tiedot ovat vuodelta 2010) (Stenvall, 2011)

Varikko	Pinta-ala (m ²)	Tilavuus (m ³)	Sähkö (kWh)	Lämpö (kWh)	Linja-autoja (kpl)
Pieni varikko	1 500	7 490	86 734	421 191	17
Keskisuuri varikko	2 500	12 000	189 320	789 000	60
Suuri varikko	3 000	14 140	693 509	999 550	130

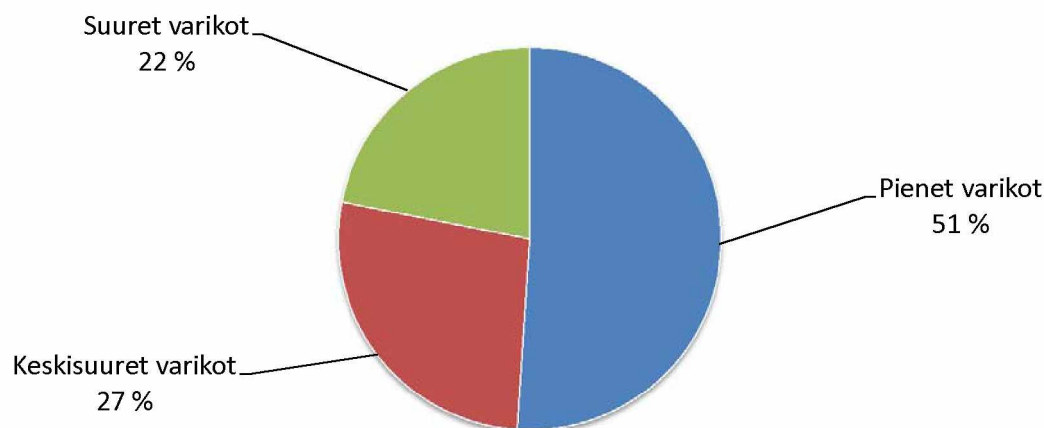
Suomen linja-autovarikoiden luokittelu ja ominaispiirteet on esitetty taulukossa 16. Erikoisten varikoiden osuudet kaikista varikoista arvioitiin yhdessä konsultin ja Liikenneviraston edustajien kanssa. Suuren linja-autovarikon yhteenlaskettu sähkön ja lämmön ominaiskulutus on tarkasteltavista varikoista korkein (noin 120 kWh/m³) ja pienen alhaisin (noin 68 kWh/m³). Keskisuuren ominaisenergiankulutus on noin 82 kWh/m³. Laskennassa oletettiin, että kaikki varikot kuuluvat kaukolämmön piiriin. Sähkön ja kaukolämmön päästökertoimien lähteenä käytettiin Tilastokeskuksen julkaisemaa Energiatilasto Vuosikirja 2009:aa (Tilastokeskus, 2009).

Taulukko 16. Suomen linja-autovarikoiden luokittelu ja ominaispiirteet

	Autopaikkoja keskimäärin, kpl	Keskimääräinen tilavuus, m ³	Oletettu osuus kaikista varikoista	Bussipaikkoja yhteensä, kpl	Varikoiden lkm yhteensä, kpl
Pienet varikot	15	6 000	40 %	5 460	364
Keskisuuret varikot	40	10 000	30 %	4 095	102
Suuret varikot	100	14 000	30 %	4 095	41
Yhteensä			100 %	13 650	507

Tulokset

Linja-autovarikoiden sähkön- ja lämmönkulutuksesta aiheutuvat päästöt ovat tämän selvityksen laskentaoletuksilla hieman alle 65 000 tCO₂/v. Päästöjen jakautuminen pienten, keskisuuren ja suurten varikoiden kesken on esitetty kuvassa 16. Vaikka suurten varikoiden energiankulutus on lähes neljä kertaa suurempi kuin pienten varikoiden, on pieniä varikoita Suomessa määrällisesti niin paljon enemmän, että niiden aiheuttamat päästöt kattavat noin puolet varikoiden vuotuisista kokonaispäästöistä. Suomen yli 500 varikosta on pieniä varikoita arvioitu olevan noin 72 %, keskisuuria noin 20 % ja suuria 8 %.



Kuva 16. Linja-autovarikoiden energiankulutuksesta aiheutuvien päästöjen jakautuminen erisuuruisten varikoiden kesken

Taulukossa 17 on esitetty yhden linja-autovarikon energiankulutuksesta aiheutuvat keskimääräiset kasvihuonekaasupäästöt. Varikot on jaoteltu kokoluokan mukaan kolmeen yllä mainittuun kategoriaan. Taulukosta nähdään, että etenkin sähkönkulutuksen aiheuttamat päästöt ovat suurien linja-autovarikoiden tapauksessa huomattavasti korkeammat kuin pienillä ja keskisuurilla varikoilla. Lämmönkulutuksesta aiheutuvien päästöjen keskinäiset erot ovat maltillisemmat.

Taulukko 17. Yhden linja-autovarikon keskimääräiset energiankulutuksesta aiheutuvat vuosittaiset päästöt jaoteltuna varikon kokoluokan ja päästölähteen mukaan

tCO ₂ /kpl/v	Sähkö	Lämpö	Yhteensä
Pieni	20	71	91
Keskisuuri	33	138	171
Suuri	139	208	347

8.2 Rautatieliikenteen päästöt

Rautatieliikenteen päästöjen laskennassa otettiin huomioon kasvihuonekaasupäästöt, jotka aiheutuivat junien sähkön ja dieselpolttoaineen kulutuksesta (primääriset päästöt) sekä rautatieasemien, rautatievarikoiden ja muiden VR-konsernin kiinteistöjen⁹ energiankulutuksesta.

8.2.1 Primääriset päästöt: rautatieliikenne

Oletukset ja lähtötiedot

Suomen rautateiden kokonaispituudet ratatyypeittäin sekä suoritteet (juna-km) junatyypeittäin (sähkö- ja dieseljunat) on esitetty Liikenneviraston Rautatietilasto 2010 -julkaisussa (Liikennevirasto, 2011g). Myös sähkön ja dieselpolttoaineen kulumäärien selvittämiseen käytettiin samaa lähdettä. Ratatyypit jaoteltiin seuraavasti: yksiraiteinen sähköistämätön, yksiraiteinen sähköistetty ja useampiraiteinen sähköistetty. Rautateiden kokonaispituudessa ei otettu huomioon ratapihoja, joiden laskenta sisältyi radanpidon hiilijalanjälkilaskentaan (Hagström et al., 2011). Sekä kaikkien Suomen junasuoritteiden että junatyypikohtaisten suoritteiden jakautuminen ratatyypeittäin perustuu konsultin ja VR:n (Stenvall, 2011) yhteisiin arvioihin. Suoritteiden jakautuminen ratatyypeittäin on esitetty taulukoissa 18 ja 19.

Taulukko 18. Arvio junien jakautumisesta ratatyypeittäin

	Dieseljuna	Sähköjuna
Yksiraiteinen sähköistämätön	100 %	0 %
Yksiraiteinen sähköistetty	5 %	95 %
Useampiraiteinen sähköistetty	2 %	98 %

Taulukko 19. Arvio Suomen kaikkien junasuoritteiden jakautumisesta ratatyypeittäin

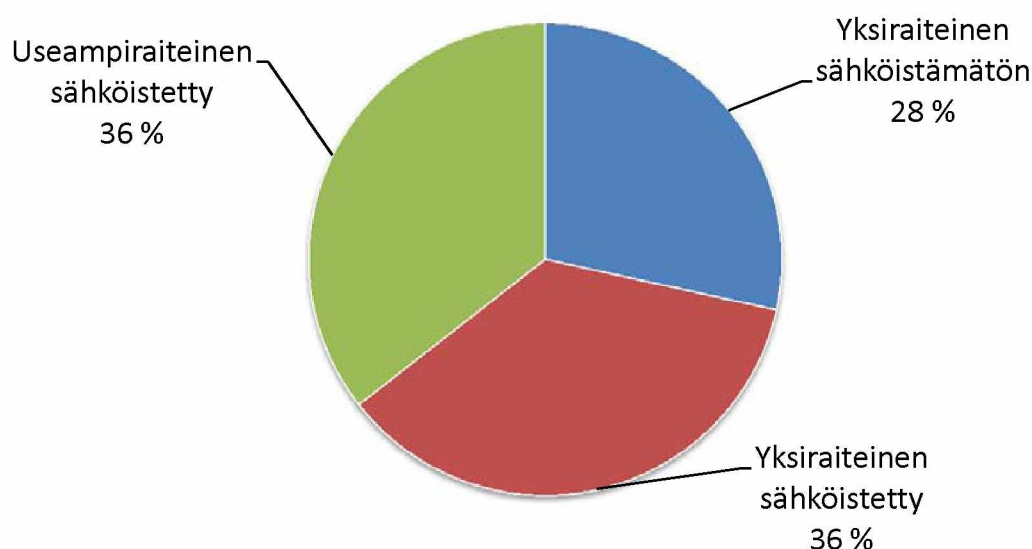
	Osuus
Yksiraiteinen sähköistämätön	12 %
Yksiraiteinen sähköistetty	43 %
Useampiraiteinen sähköistetty	45 %

⁹ Kiinteistöjen energiankulutus, joka jää jäljelle, kun VR:n koko konsernin kiinteistöjen energiankulutuksesta poistetaan asemarakennusten, varikoiden ja konepajojen luvut sekä autoliikenteelle kuuluvat osat.

Vuonna 2009 rautatieliikenne kulutti noin 645 GWh sähköä ja noin 35,1 miljoonaa litraa dieselpolttoainetta. Dieselin ja sähkön päästökertoimien lähteenä käytettiin Tilastokeskuksen julkaisemaa Energiatilasto Vuosikirja 2009:aa (Tilastokeskus, 2009).

Tulokset

VR:n rautatieliikenne käyttää vihreää sähköä (VR, 2011). Sähköjunien päästökerroin on tämän vuoksi nolla. Jotta tämän selvityksen tulokset olisivat keskenään vertailukelpoiset, on rautatieliikenteen laskennassa kuitenkin käytetty Suomen keskiarvoista sähkön päästökerrointa. Näin laskien rautatieliikenteen sähkön ja dieselpolttoaineen kulutuksesta aiheutuvat päästöt ovat hieman yli 260 000 tCO₂/v¹⁰. Kokonaispäästöistä noin 64 % aiheutuu sähkön ja loppuosa dieselin kulutuksesta. Päästöjen jakautuminen ratatyypeittäin on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Rautatieliikenteen sähkön ja dieselpolttoaineen kulutuksesta aiheutuvien päästöjen jakautuminen ratatyypeittäin

Taulukossa 20 on kuvattu, miten päästöt jakautuvat ratatyypeittäin. Vuosittaiset päästöt on esitetty ratakilometriä kohden. Useampiraiteisilla sähköistetyillä radoilla liikennöinti tuottaa selvästi eniten päästöjä ratakilometriä kohden tarkasteltavista ratatyypeistä. Taulukosta nähdään, että sähkön osuus päästöistä on merkitsevässä asemassa.

Taulukko 20. Rautatieliikenteen aiheuttamat vuosittaiset hiilidioksidipäästöt ratakilometriä kohti jaoteltuna ratatyypin ja päästölähteen mukaan

tCO ₂ /rata-km/v	Diesel	Sähkö	Yhteensä
Yksiraiteinen sähköistämätön	29	0	29
Yksiraiteinen sähköistetty	6	36	42
Useampiraiteinen sähköistetty	11	171	182

¹⁰ Mikäli sähkö olisi laskennassa päästötöntä, olisivat rautatieliikenteen päästöt noin 93 000 tCO₂/v

8.2.2 Sekundääriset päästöt: rautatieasemat

Oletukset ja lähtötiedot

VR:ltä saatiin tiedot yhdeksän rautatieaseman tilavuuksista ja pinta-aloista sekä sähkön ja lämmön kulutuksista vuonna 2010 (Stenvall, 2011). Saatujen tietojen avulla laskettiin rautatieasemien keskimääräiset ominaiskulutukset sekä sähkölle (12 kWh/m³) että lämmölle (48 kWh/m³). VR:ltä saatiin myös lukumäärä- ja tilavuus-tiedot kaikista heidän hallinnoimistaan rautatieasemista (Stenvall, 2011). Liikenneviraston omistamien asemarakennusten osalta saatiin vain lukumäärätiedot (Kärkäinen, 2011). Lisäksi kaupunkien arvioitiin omistavan vajaat 10 % Suomen koko asemarakennuskannasta. Asemien lukumäärät on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21. Suomen rautatieasemien lukumäärä

Hallinnoija/omistaja	Lkm
VR	45
Liikennevirasto	25
Kaupungit	7
Yhteensä	77

VR:n hallinnoimien asemarakennusten keskitilavuus on saatujen tietojen mukaan hieman alle 12 300 m³. Tätä keskitilavuutta sovellettiin myös Liikenneviraston ja kaupunkien omistamien asemarakennusten energiankulutuksen laskennassa. Lähtötietojen ja -oletusten perusteella yksi asemarakennus kuluttaa energiaa keskimäärin 730 MWh vuodessa. Tällöin koko asemarakennuskannan energiankulutus on noin 56,4 GWh. Tarkastelussa oletettiin, että kaikki asemat kuuluvat kaukolämmön piiriin. Tämä oletus on yleistävä ja epätarkka esimerkiksi haja-asutusalueiden läheisyydessä olevien asemien osalta, jotka eivät yleensä kuulu kaukolämmön piiriin. Nämä haja-asutusalueiden asemat ovat toisaalta yleensä muita pienempiä (sekä pinta-aloiltaan että liikennemääriltään) (Stenvall, 2011), joten kaukolämmön käyttäminen laskelmien pohjana antaa riittävän luotettavan arvion tämän selvityksen tarpeisiin. Sähkön ja kaukolämmön päästökertoimien lähteenä käytettiin Tilastokeskuksen julkaisemaa Energiatilasto Vuosikirja 2009:aa (Tilastokeskus, 2009).

Tulokset

Rautatieasemien sähkön- ja lämmönkulutuksesta aiheutuvat päästöt ovat noin 12 400 tCO₂/v. VR:n hallinnoimien asemien päästöt kattavat noin 58 %, Liikenneviraston noin 32 % ja kaupunkien noin 9 % kokonaispäästöistä. Taulukossa 22 on esitetty yhden rautatieaseman keskimääräiset energiankulutuksesta aiheutuvat vuotuiset päästöt päästölähteittäin (sähkö, lämpö) jaoteltuna.

Taulukko 22. Yhden rautatieaseman keskimääräiset energiankulutuksesta aiheutuvat vuosittaiset päästöt päästölähteen mukaan jaoteltuna

tCO ₂ /kpl/v	Sähkö	Lämpö	Yhteensä
Asemarakennukset	39	123	161

8.2.3 Sekundääriset päästöt: rautatievarikot ja muut kiinteistöt

Oletukset ja lähtötiedot

Rautatievarikoiden ja muiden VR:n omistamien kiinteistöjen (pl. asemarakennukset ja konepajat) energiankulutus saatiin poistamalla VR:n koko konsernin energiankulutuksesta rautatieliikenteen, maantieliikenteen, asemarakennusten ja konepajojen kulutukset. Konepajat poistettiin luvuista, sillä konepajatoiminnan ei nähty kuuluvan varsinaiseen liikenteen operointiin (Stenvall, 2011). Konsernin kokonaisenergiankulutusta koskevat tiedot vuodelta 2010 (218 GWh) saatiin VR:ltä (Stenvall, 2011). Lähtötietojen ja -oletusten perusteella rautatievarikot ja muut VR:n omistamat kiinteistöt, pois lukien konepajat ja asemarakennukset, kuluttavat sähköä noin 58 GWh ja lämpöä noin 127 GWh vuodessa.

Tarkastelussa oletettiin kaikkien rautatievarikoiden kuuluvan kaukolämmön piiriin. Sähkön ja kaukolämmön päästökertoimien lähteenä käytettiin Tilastokeskuksen julkaisemaa Energiatilasto vuosikirja 2009:aa.

Tulokset

Rautatievarikoiden ja muiden VR:n omistamien kiinteistöjen (pl. asemarakennukset ja konepajat) sähkön- ja lämmönkulutuksesta aiheutuvat päästöt ovat noin 41 800 tCO₂/v. Päästöistä noin 64 % voidaan allokoida lämmölle ja loput sähkölle. Taulukossa 23 on kuvattu päästöt ratakilometriä kohden.

Taulukko 23. Rautatievarikoiden ja muiden VR:n omistamien kiinteistöjen – pois lukien konepajat ja asemarakennukset – energiankulutuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ratakilometriä kohti vuonna 2010 päästölähteen mukaan jaoteltuna

tCO ₂ /rata-km/v	Sähkö	Lämpö	Yhteensä
Varikot ja muut	2,9	5,0	7,9

8.3 Meriliikenteen päästöt

Meriliikenteen päästöistä otettiin huomioon primääriset päästöt, jotka aiheutuivat satamissa ja väylällä kulkevien alusten polttoaineenkulutuksesta. Sekundäärisiä päästölähteitä ei tunnistettu, koska telakat päätettiin rajata laskennan ulkopuolelle. Suomessa on vain yksi korjaustelakka (Naantali) ja suomalaiset alukset voivat telakoitua myös ulkomailla. Satamat ja niissä lastin käsittelyyn käytettävien työkoneiden polttoaineenkulutus sisällytettiin aiemmin tehtyihin merenkulun infrastruktuurin hiilijalanjälkilaskelmiin.

8.3.1 Primääriset päästöt: meriliikenne

Oletukset ja lähtötiedot

Suomen vesiliikenteen päästöt on tilastoitu VTT:n LIPASTO-laskentajärjestelmän vesiliikennettä koskevaan alamalliin MEERI 2010. Vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä kattaa suomalaisiin satamiin suuntautuvan sekä suomalaisista satamista

ulkomaille suuntautuvan laiva- ja muun alusliikenteen päästöt Suomen talousalueella. Laskenta-alueeseen kuuluvat sekä rannikon liikenne että sisävesiliikenne. Kotimaanliikenteessä matkat on laskettu todellisena etäisyytenä kahden sataman välillä. Ulkomaanliikenteessä matkoiksi on oletettu etäisyys satamasta Suomen talousalueen uloimpaan pisteeseen eli Ahvenanmaan eteläpuolella sijaitsevaan ns. "kolmikanapisteeseen". (MEERI, 2010)

Tilastossa alukset on jaettu seitsemään eri luokkaan. Luokakohtaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat esitetty taulukossa 24. Taulukon metaani- (CH_4) ja typpioksiduulin (N_2O) päästöt on muutettu hiilidioksidiekvivalenteiksi ($\text{tCO}_2\text{-ekv/v}$), poiketen alkuperäisen MEERI 2010-mallin tiedoista.

Taulukko 24. Suomen vesiliikenteen päästöt 2010 (MEERI, 2010)

Vesiliikenteen päästöt, 2010	CH_4 (t/v)	N_2O (t/v)	CO_2 (t/v)	$\text{tCO}_2\text{-ekv/v}$
Satamat	24	9	347 635	350 917
Väylät	128	48	1 890 534	1 908 038
Risteilyalukset	0,5	0,3	8 973	9 060
Huviveneet	152	4	187 919	193 030
Kalastus- ja työvene	11	6	203 417	205 361
Lautat ja lossit	1	1	20 145	20 336
Jäänmurtaajat	8	3	98 610	99 553
Yhteensä	324	70	2 757 233	2 786 295

Satamapäästöihin on laskettu kaikki laivojen satama-alueella liikkussa ja seisonta-aikana laiturissa aiheuttamat päästöt. Väyläpäästöihin puolestaan kuuluvat kaikki laivojen väylällä ajon aikana aiheutetut päästöt. Väyläpäästöjen laskenta perustuu laivojen lukumäärän lisäksi niiden väylällä eli satama-alueen ulkopuolella kulkemaan matkaan (km). Huviveneiden päästöjä ei otettu huomioon laskennassa, sillä huviveneet liikennöivät pääsääntöisesti muualla kuin varsinaisilla laivaväylillä (Holm, 2011; Stenvall, 2011). Kalastusalusten ja -veneiden sekä työalusten ja -veneiden päästöjen laskenta perustuu niiden lukumäärään sekä vuosittaiseen polttonesteen kulutukseen (kg/v/vene). Näiden aiheuttamista päästöistä otettiin huomioon vain 10 %, sillä nämäkään eivät yleisesti kulje laivaväylillä (Holm, 2011; Stenvall, 2011). Suomen armeijan veneet ja alukset eivät sisälly MEERI 2010 -järjestelmän laskentaan. Jäänmurtaajien päästöjen laskenta perustuu niiden käyttämän polttonesteen määrään. (MEERI, 2010) Tässä laskennassa kalastusalukset ja -veneet, työalukset ja -veneet sekä lautat ja lossit on yhdistetty ja näihin viitataan yleisesti termillä "aluspäästöt".

Satamien päästöt on tilastoitu MEERI 2010 -järjestelmässä myös satamakohtaisesti. Satamakohtaisten tietojen perusteella talvisatamien osuuden laskettiin olevan 94 % kokonaispäästöistä. Loput 6 % sisältää muiden rannikon kauppamerenkulun satamien lisäksi myös sisävesiliikenteen päästöjä, joiden osuus on noin 1 %. Näin ollen laskelmissa oletettiin rannikon kauppamerenkulun osuudeksi 99 % kokonaispäästöistä.

Tulokset

Rannikon kauppamerenkulun satamapäästöiksi saatiin yhteensä 347 000 $\text{tCO}_2\text{-ekv/v}$ olettaen, että 99 % päästöistä kohdistuu rannikon kauppamerenkulun satamille. Taulukossa 25 on esitetty väyläpäästöt ja näiden erittely rannikon kauppamerenkulun väylille. Kuten satamapäästöissä, väyläpäästöjen laskennassa oletettiin, että 99 % päästöistä syntyy rannikon kauppamerenkulun väylillä. Kokonaisuudessaan väyläpäästöjen arvioitiin olevan yhteensä 1 908 000 $\text{tCO}_2\text{-ekv/v}$.

Taulukko 25. Väyläpäästöt ja näiden jakautuminen rannikon kauppamerenkulun väylille

Väyläpäästöt, 2010		
Yhteensä	1 908 038	tCO ₂ -ekv/v
Rannikon kauppamerenkulun väylät	3 231	km*
Rannikon kauppamerenkulun väylien osuus päästöistä	99 %	
Rannikon kauppamerenkulun väylien päästöt yhteensä	1 888 958	tCO ₂ -ekv/v
Päästöt per väylä-km rannikon kauppamerenkulun väylillä	585	tCO ₂ -ekv/km/v

*Naukkarinen (2010), MEERI 2010 – järjestelmä sisältää myös sisävesiliikennettä.

Taulukossa 26 on vastaavasti esitetty aluspäästöt, joiden kokonaismäärä on noin 49 500 tCO₂-ekv/v. Aluspäästöihin on laskettu mukaan risteilyalukset, lautat ja lossit, sekä 10 % kalastus- ja työveneiden päästöistä. Losseja on todennäköisesti suhteessa enemmän sisävesiväylillä, joten näiden päästöjen osalta 99 % oletus lienee yliarvioitu. Toisaalta lauttojen ja lossien päästöt ovat 1 % koko vesiliikenteen päästöistä, joten suurta virhettä tästä ei tule.

Taulukko 26. Aluspäästöt ja niiden jakautuminen rannikon kauppamerenkulun väylille

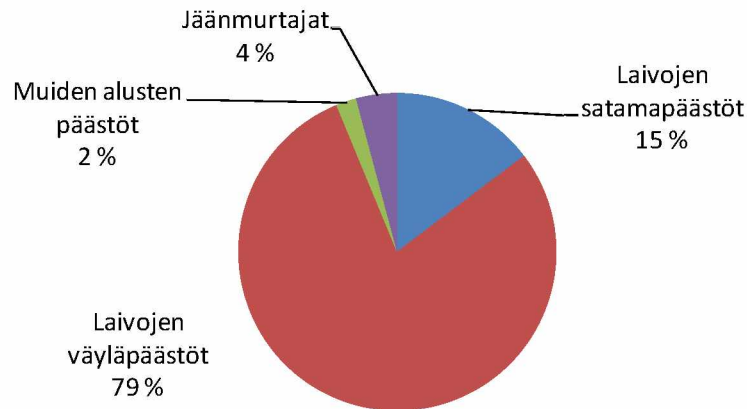
Aluspäästöt, 2010		
Yhteensä	49 932	tCO ₂ -ekv/v
Rannikon kauppamerenkulun väylät	3 231	km
Rannikon kauppamerenkulun väylien osuus päästöistä	99 %	
Rannikon kauppamerenkulun väylien aluspäästöt yhteensä	49 433	tCO ₂ -ekv/v
Päästöt per väylä-km rannikon kauppamerenkulun väylillä	15	tCO ₂ -ekv/km/v

Jäänmurtajien päästöjen, yhteensä noin 100 000 tCO₂-ekv/v oletettiin jakautuvan yksinomaan kauppamerenkulun väylille. Niiden osalta laskettiin MEERI 2010 -järjestelmän tietojen pohjalta päästöt väyläkilometriä kohti. Tulokset on esitetty taulukossa 27.

Taulukko 27. Jäänmurtajien päästöt

Jäänmurtajat, 2010		
Yhteensä	99 553	tCO ₂ -ekv/v
Rannikon kauppamerenkulun väylät	3 231	km
Päästöt per väylä-km rannikon kauppamerenkulun väylillä	31	tCO ₂ -ekv/km/v

Merenkulun liikenteen päästöjen jakautuminen eri päästölähteisiin on esitetty kuvassa 18. Tuloksista nähdään, että laivojen kulkeminen väylillä aiheuttaa suurimman osan päästöistä. Laivojen satamapäästöt ovat 15 %. Jäänmurtajien osuus päästöistä on alle 5 % ja muiden alusten aiheuttamat päästöt vain 2 %.



Kuva 18. Rannikon kauppamerenkulun liikenteen vuosittaiset päästöt

8.4 Kulkumuotojen vertailu

Tie-, rautatie- ja meriliikenteen vuosittaisia päästöjä on vertailtu taulukossa 28. Taulukkoon on kerätty edellä esitetyt tulokset primääristen ja sekundääristen päästöjen laskennasta. Sekundääriset päästöt on myös jaoteltu tarkasteltuihin osa-alueisiin.

Taulukko 28. Tie-, rata- ja meriliikenteen vuosittaiset päästöt

Liikenteen päästöt (tCO ₂ /vuosi)	Tieliikenne (78 160 tie-km)	Rautatieliikenne (5 288 rata-km)	Meriliikenne (3 231 väylä-km)	Yhteensä
Primääriset päästöt	8 118 468	260 575	2 388 860	10 767 903
Sekundääriset päästöt	148 375	54 192	-	202 566
Liikenneasemat:	77 990	-	-	77 990
Levähdys-, pysäköimis- ja lastausalueet:	5 665	-	-	5 665
Linja-autovarikot:	64 719	-	-	64 719
Rautatieasemat:	-	12 421	-	12 421
Rautatieliikenteen varikot ja muut:	-	41 771	-	41 771
Yhteensä	8 266 843	314 766	2 388 860	10 970 469

Huom. tie- ja meriliikenteen primääriset päästöt ovat hiilidioksidiekvivalenteja.

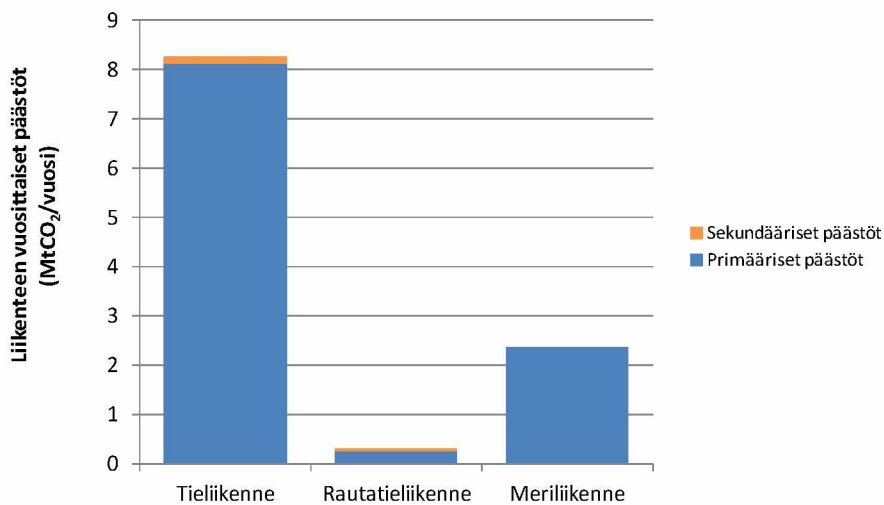
Päästöjen vertailussa tieliikenteen päästöt ovat moninkertaiset verrattuna rautatie- ja meriliikenteen päästöihin. Sekundääristen päästöjen osuus liikenteen päästöistä jää suhteellisen pieneksi: tieliikenteen päästöistä sekundääristen päästöjen osuus on vain 2 % ja rautatieliikenteen 17 %. Meriliikenteen osalta näitä ei ollut ollenkaan.

Sekundääristen päästöjen suurempi osuus rautatieliikenteessä selittyy primääristen päästöjen vähäisyydellä. Absoluuttiset sekundääriset päästöt ovat kuitenkin rautatieliikenteessä pienemmät kuin tieliikenteessä: Rautatieasemien päästöt vastaavat keskiuuren linja-autovarikon päästöjä ja ovat hieman yli kaksinkertaiset huoltoasemien päästöihin verrattuna. Rautatieasemia on Suomessa 77 kappaletta ja huoltoasemia 915 kappaletta. Rautatieliikenteen varikkojen ja muun rautatieliikennettä tukevien toimintojen päästöt ovat selkeästi pienemmät kuin tieliikenneasemien tai linja-autovarikoiden yhteenlasketut päästöt.

Mikäli rautatieliikenteen primääripäästöjen laskennassa otetaan huomioon VR:n käyttämä vihreä sähkö, nousee sekundääristen päästöjen osuus koko rautatieliikenteen

päästöistä lähes 40 prosenttiin. Tällöin rautatieliikenteen päästöt ovat 1 % tarkastelujen kulkumuotojen liikenteen kokonaispäästöistä, kun muuten ne ovat 3 %.

Eroja eri kulkumuotojen liikenteen päästöissä on havainnollistettu kuvassa 19. Meriliikenteen kasvihuonekaasupäästöt ovat noin kolmasosa tieliikenteen päästöistä, mutta kuitenkin lähes yhdeksänkertaiset rautatieliikenteen päästöihin verrattuna. Tulosten tulkinnassa on kuitenkin otettava huomioon, että meriliikenteen päästöihin sisältyy myös ulkomaille suuntautuvaa liikennettä niiltä osin, kun päästöt aiheutuvat Suomen talousalueen sisäpuolella. Tie- ja rautatieliikenne kattaa vain Suomen rajojen sisällä tapahtuvan liikenteen.



Kuva 19. Tie-, rata- ja meriliikenteen vuosittaiset päästöt

Tie- ja rautatieliikenteen erilaisten liikennettä tukevien toimintojen sekundäärisiä päästöjä voidaan vertailla keskenään. Taulukossa 29 on esitetty erilaisten rakennusten ja alueiden vuosittaisia päästöjä.

Taulukko 29. Sekundääristen päästöjen vertailu tie- ja rautatieliikenteessä

Sekundääriset päästöt	tCO ₂ /kpl/v	m ²	tCO ₂ /m ² /v
Huoltoasema	72	450	0,1600
Automaattiasema	11	-	-
Erilliset raskaan kaluston jakelupisteet	3	-	-
Levähdysalue	5	5 800	0,0009
Pysäköintialue	1,3	1 500	0,0009
Lastausalue	0,4	500	0,0008
Pieni linja-autovarikko	91	1 500	0,0607
Keskisuuri linja-autovarikko	171	2 500	0,0684
Suuri linja-autovarikko	347	3 000	0,1157
Rautatieasema	161	2 500	0,0644

Huoltoasemat aiheuttavat eniten päästöjä suhteessa niiden vaatimaan pinta-alaan. Huoltoasemien neliötä kohden syntyvät päästöt ovat suurempia kuin isoissa linja-autovarikoissa, koska ne vaativat lämmitettyä tilaa. Rautatieasemien päästöt suhteessa niiden vaatimaan pinta-alaan ovat samaa suuruusluokkaa kuin pienillä linja-autovarikoilla. Levähdys-, pysäköinti- ja lastausalueet eivät juuri eroa toisistaan. Niiden päästöt ovat pieniä, sillä niissä ei kuluteta energiaa.

Tässä luvussa esitellyt tulokset integroitiin myös tien- sekä radanpidon että merenkulun hiilijalanjäljen laskentatyökaluihin. Suunnittelijoiden käyttöön suunnitellussa työkalussa käyttäjä voi näiden tietojen myötä ottaa huomioon myös liikenteen päästöt eri laisten tien-, radan-, satama- ja väylärakennushankkeiden ratkaisuihin.

8.5 Virhearviot

Primäärysten päästöjen laskennan lähtötiedot perustuivat luotettaviin tilastotietoihin ja tutkimuksiin. Tie- ja rautatieliikenteen primääriset päästöt perustuivat Liikenneviraston Tie- ja Rautatietilastoihin, jotka edustavat luotettavinta mahdollista lähdettä Suomen liikennemäärästä. Tieliikenteen päästöjen laskennassa tehtiin oletuksia muun muassa siitä, että ajoneuvojakauma (ajoneuvo-km/tie-km) on sama kaikilla tietyypeillä, jolloin liikennemäärätieto on keskimääräinen tieto tietyyppiä kohden. Tämä oletus aiheuttaa virheen vain tietyyppikohtaiseen päästöjaotteluun, muttei kokonaispäästöihin. Rautatieliikenteen päästöt puolestaan perustuivat tilastoituun tietoon energiankulutuksesta VR:n liikennöimien junien osalta. Vaikka oletuksia on tehty muun muassa kaikkien Suomen junasuoritteiden ja junatyyppikohtaisten suoritteiden jakautumisesta ratatyypeittäin, tällä ei ole kokonaispäästöjen kannalta merkitystä.

Meriliikenteen primääriset päästöt perustuivat MEERI 2010 -laskentajärjestelmän tietoihin. Epävarmuutta laskentaan tuo esimerkiksi se, ettei satamapäästöjen laskennassa ole otettu huomioon satamien erityispiirteitä, vaan käytetyt lähtöoletukset ovat kaikille satamille samat (MEERI, 2010). MEERI 2010 -laskentajärjestelmän tiedot ovat kuitenkin luotettavin lähde vesiliikenteen päästöjen kannalta.

Sekundäärysten päästöjen osalta jouduttiin tekemään huomattavasti enemmän oletuksia ja käyttämään keskiarvoihin perustuvia lukuja. Tämä lisää huomattavasti laskennan epävarmuutta. Toisaalta sekundäärysten päästöjen osuudet kokonaispäästöistä ovat ainakin tieliikenteen osalta hyvin marginaaliset. Rautatieliikenteen sekundääriset päästöt ovat 17 %. Vaikka nämä olisi laskettu 50 % yli- tai aliarvioiden, virheen vaikutus rautatieliikenteen kokonaispäästöihin on karkeasti arvioiden alle 10 %.

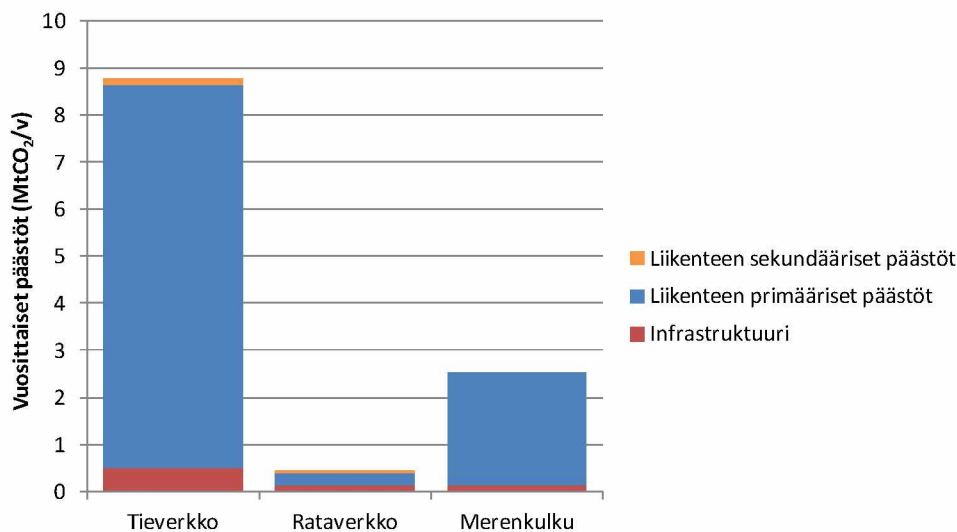
9 Suomen liikenneverkon hiilijalanjälki

Tässä raportissa on tähän asti esitelty erillään merenkulun infrastruktuurin päästöjä sekä tie-, rautatie- ja meriliikenteen aiheuttamia päästöjä. Aiemmin julkaistussa tien- ja radanpidon hiilijalanjälkiä koskevassa raportissa puolestaan esiteltiin tie- ja ratainfrastruktuurin päästöt (Hagström et al., 2011). Nämä kaikki yhdistettynä muodostavat liikenneverkon kokonaishiilijalanjäljen. Yhteenvedo kokonaishiilijalanjäljestä on esitetty taulukossa 30.

Taulukko 30. Liikenneverkon hiilijalanjälki

Päästöt (tCO ₂ /vuosi)	Tieverkko	Rataverkko	Merenkulku	Yhteensä
Infrastruktuuri	511 000	142 000	150 000	803 000
Liikenteen primääriset päästöt	8 118 468	260 575	2 388 860	10 767 903
Liikenteen sekundääriset päästöt	148 375	54 192	0	202 566
Yhteensä	8 777 843	456 766	2 538 860	11 773 469

Tieverkon päästöt ovat 75 % koko hiilijalanjäljestä, rataverkon 4 % ja merenkulun 21 %. Infrastruktuurin osuus koko liikenneverkon hiilijalanjäljestä on 7 %, primääristen liikennepäästöjen 91 % ja sekundääristen liikennepäästöjen 2 %. Hiilijalanjäljen jakautumista infrastruktuuriin ja liikenteen päästöihin on havainnollistettu edelleen kuvassa 20.

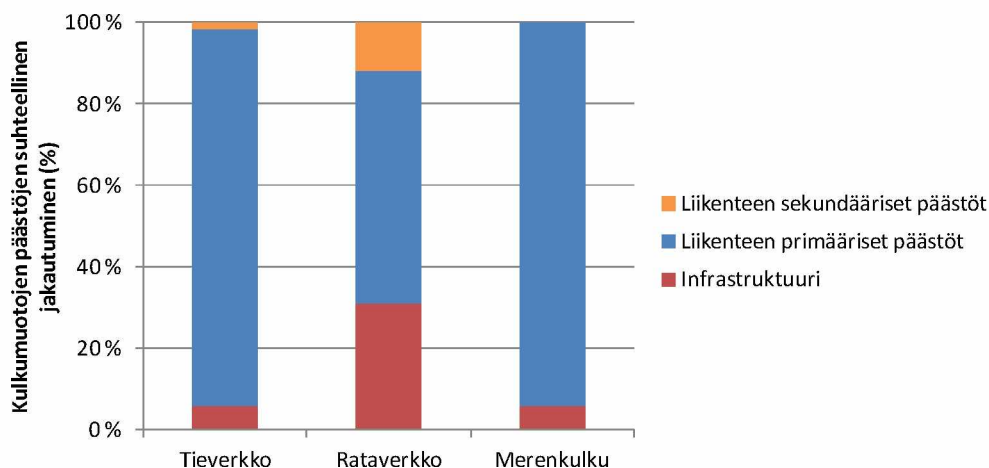


Kuva 20. Tie- ja rataverkon sekä merenkulun vuosittaisten päästöjen jakautuminen infrastruktuurin ja liikenteen päästöihin

Tieverkon päästöt ovat suurimmat sekä infrastruktuurin että liikenteen päästöjen osalta. Merenkulun ja rataverkon infrastruktuurien päästöt ovat keskenään samansuuruiset. Merenkulun liikenteen rautatieliikennettä suuremmat päästöt johtavat siihen, että merenkulun kokonaispäästöt ovat kuusinkertaiset rataverkon päästöihin verrattuna.

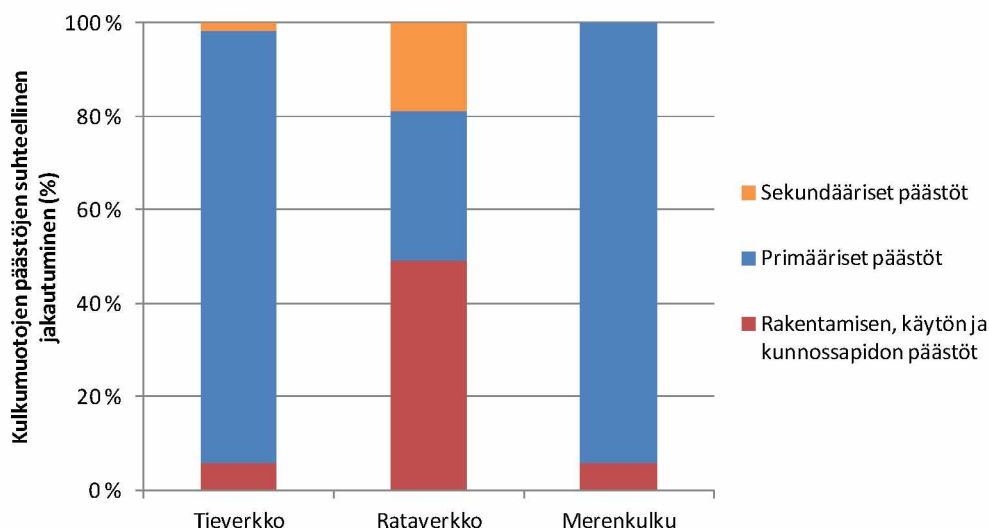
Rataverkon päästöistä noin kolmannes syntyy infrastruktuurin päästöistä. Tieverkon ja merenkulun osalta vastaava osuus on 6 %. Tieverkon ja merenkulun päästöistä lii-

kenteen primäärisillä päästöillä on merkittävästi suurempi vaikutus suhteessa muihin päästöihin. Tätä on havainnollistettu kuvassa 21.



Kuva 21. Kulkumuotojen päästöjen suhteellinen jakautuminen infrastruktuurin ja liikenteen päästöihin

Kun rautatieliikenteessä nykyään käytetty vihreä sähkö otetaan huomioon, nousee infrastruktuurin päästöjen vaikutus entisestään. Tätä on havainnollistettu kuvassa 22. Tällöin rataverkon osuus liikenneverkon kokonaispäästöistä on vain 2 %, kun muutoin tämä on 4 %.



Kuva 22. Kulkumuotojen päästöjen suhteellinen jakautuminen infrastruktuurin ja liikenteen päästöihin ottaen huomioon junien käyttämän vihreän sähkön

Taulukossa 31 on esitetty karkea vertailu eri kulkumuotojen päästöjen suhteesta vuositaisiin liikennesuoritteisiin. Tämä antaa käsityksen siitä, mikä on hiilijalanjäljen kannalta tehokkain tapa kuljettaa tavaraa ja henkilöitä yhdestä paikasta toiseen nykyisillä kuljetapajakaumilla. Suhdeluvut muuttuvat herkästi käyttäjien määrän muuttuessa. Esimerkiksi rataverkolla ja henkilöautoissa on paljon vapaata kapasiteettia. Merenkulku ei ole mukana vertailussa, sillä sen osalta laskentatulokset eivät ole vertailukelpoisia tieverkon ja rataverkon kanssa.

Taulukko 31. Päästöjen suhde vuosittaisiin liikennesuoritteisiin tie- ja rataverkoilla

Päästöjen vertailu	tCO ₂ /v	gCO ₂ /h-km/v	gCO ₂ /t-km/v
Tieinfrastruktuurin päästöt	511 000	8	20
Tieliikenteen päästöt	8 118 468	130	313
Tieverkon päästöt	8 629 468	138	332
Rautatieinfrastruktuurin päästöt	142 000	36	21
Rautatieliikenteen päästöt	260 575	66	38
Rataverkon päästöt	402 575	102	58

HUOM. Rautatieliikenteen päästöissä ei ole otettu huomioon VR:n käyttämää vihreätä sähköä

Tässä selvityksessä merenkulun päästöjen lähtötiedoissa otettiin huomioon myös ulkomaille suuntautuvan liikenteen päästöt, jotka syntyvät Suomen talousalueen sisäpuolella. Tie- ja rataliikenne puolestaan kattavat vain kotimaan sisäisen liikenteen. Taulukossa 31 esitetyt suhdeluvut laskettiin jakamalla liikenneverkon kokonaispäästöt tavarakuljetusten tonnikipometreillä sekä matkustajien henkilökilometreillä. Tässä vertailussa ei ole otettu huomioon päästöjen jakautumista tavana- ja henkilökuljetusten välillä tai eroja kuljetusvälineiden tehokkuuksissa. Liikennesuoritteiden tietolähteenä käytettiin Tietilastoa ja Rautatietilastoa vuodelta 2010 (Liikennevirasto, 2011f ja 2011g). Liikennesuoritteet vuonna 2010 on esitetty taulukossa 32.

Taulukko 32. Liikennesuoritteet 2010

Liikennesuoritteet, 2010	Tavaraliikenne (milj. t-km)	Matkustajaliikenne (milj. h-km)
Tieliikenne	25 961	62 631
Rataliikenne	6 915	3 959

Infrastruktuurin aiheuttamat päästöt suhteessa liikennesuoritteisiin ovat tieverkolla pienemmät kuin rataverkolla. Tämä johtuu tieliikenteen keskimäärin huomattavasti suuremmista suoritelmääristä. Kun otetaan huomioon liikenteen päästöjen vaikutukset, nähdään, että tavaroiden ja henkilöiden kuljettaminen rataverkolla aiheuttaa kuitenkin vähemmän päästöjä kuin tieverkolla. Tässä vertailussa ei otettu huomioon sitä, minkälaisilla ajoneuvoilla tai junilla tavaroita tai henkilöitä kuljetetaan. Näillä valinnoilla voi olla merkittävä vaikutus lopputulokseen. Vertailun lopputuloksiin voi myös vaikuttaa esimerkiksi biopolttoaineiden laajempi käyttö tieliikenteessä.

10 Yhteenveto ja johtopäätökset

Liikenteen päästöjä käsittelevissä tutkimuksissa ei ole aiemmin otettu huomioon infrastruktuurin rakentamisen ja kunnossapidon eikä liikennettä tukevien toimintojen, kuten liikenneasemien ja parkkialueiden, aiheuttamia päästöjä. Tässä hankkeessa tutkittiin tien- ja radanpidon sekä rannikon kauppamerenkulun infrastruktuurin sadan vuoden elinkaaren aikana syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Tarkastelussa otettiin huomioon rakentaminen, käyttö ja kunnossapito. Lisäksi hankkeessa laskettiin liikenteen päästöt maantie- ja rautatieliikenteelle sekä rannikon kauppamerenkululle. Laskelmissa otettiin huomioon sekä kulkuneuvojen kuluttaman energian aiheuttamat päästöt että liikennettä tukevien toimintojen päästöt. Tavoitteena oli selvittää infrastruktuurin merkitystä suhteessa liikenteen aiheuttamiin päästöihin ja vertailla eri kulkumuotojen hiilijalanjälkiä keskenään.

Tulokset osoittavat selkeästi, että tieverkon päästöt ovat muita kulkumuotoja selvästi suuremmat niin infrastruktuurin rakentamisen, käytön ja kunnossapidon kuin tieliikenteen aiheuttamien päästöjen osalta. Tieverkon vuosittaiset päästöt ovat yhteensä keskimäärin 8,8 MtCO₂/v. Rataverkon vuosittaiset päästöt ovat keskimäärin 0,46 MtCO₂/v. Ne ovat kulkumuodoista pienimmät ja muodostavat vain 4 % kaikkien kulkumuotojen yhteenlasketuista päästöistä. Mikäli rautatieliikenteen laskelmissa otetaan huomioon vihreän sähkön käyttö, osuus putoaa kahteen prosenttiin. Rataverkon päästöissä infrastruktuurin merkitys suhteessa kokonaispäästöihin on suurempi kuin tieverkolla tai merenkululla. Merenkulun päästöt sijoittuvat tieverkon ja rataverkon väliin ja ovat keskimäärin 2,5 MtCO₂/v.

Tien- ja radanpidon infrastruktuurin elinkaari päästöistä suurin osa syntyy rakentamisen aikana. Merenkulun infrastruktuurin elinkaari päästöt syntyvät pääosin satamien energiankulutuksesta käyttövaiheen aikana. Merenkulun infrastruktuurin päästöt muistuttavatkin jossain määrin ratapihojen päästöjä.

Liikenteen päästöjen tarkastelemalla on todettavissa primääristen päästöjen suuri osuus kaikilla tarkastelluilla liikennemuodoilla. Sekundääristen päästöjen merkitys on suurin rautatieliikenteessä (17 %), mutta sekundääriset päästöt ovat silti selkeästi primääripäästöjä pienemmät. Tieliikenteessä sekundääristen päästöjen osuus jäi noin 2 prosenttiin. Merenkululle ei tässä hankkeessa tunnistettu sekundäärisiä liikenteen päästölähteitä laskelmissa tehdyistä rajauksista johtuen.

Tämä selvitys osoittaa, että liikenteen primääriset päästöt, eli kulkuväylillä liikennöivien ajoneuvojen, junien ja alusten kuluttama energia, on Suomen liikenneverkon kasvihuonekaasupäästöjen selvästi suurin lähde. Sen osuus kokonaispäästöistä on 92 %. Liikenteen infrastruktuurin rakentamisella, käytöllä ja kunnossapidolla ei päästöjen näkökulmasta ole kovin suurta merkitystä. Infrastruktuuripäästöjen suhteellinen osuus tulee kuitenkin kasvamaan liikenteen siirtyessä yhä enenevässä määrin puhtaampiin polttoaineisiin. Liikennettä tukevat toiminnot, kuten huoltoasemat, parkkipaikat ja rautatieasemat, muodostavat vain pienen osan liikenteen kokonaispäästöistä. Tämä karkealla tasolla tehty selvitys vahvistaa aiempia näkemyksiä liikenteen päästöistä.

Tässä hankkeessa on esitetty karkea arvio hiilidioksidipäästöistä suhteessa kuljetettavien tavarain ja henkilöiden määriin tie- ja rataverkoilla. Merenkulun päästöjä suhteessa kuljetussuoritteisiin ei ollut mahdollista tarkastella, sillä merenkulun päästö-

jen lähtötiedoissa otettiin huomioon myös Suomen talousalueen sisällä kulkeva, ulkomaille suuntautuva liikenne. Tehtyjen arvioiden perusteella sekä tavarankuljetuksen että henkilöiden kuljettaminen aiheuttaa nykyisillä liikennesuoritejakaumilla vähemmän päästöjä rataverkolla kuin tieverkolla. Näitä tuloksia on tulkittava varoen, sillä arvioinnissa ei otettu huomioon esimerkiksi sitä, minkälaisilla kulkuneuvoilla tavaraa tai henkilöitä kuljetetaan. Merenkulun suoritekohtainen vertailu vaatisi päästöjen laskemista vain kotimaan liikenteelle. Nämä suhdeluvut vaativat tarkempaa analyysiä, jotta voidaan tehdä luotettavia johtopäätöksiä siitä, mikä kulkumuoto on päästöjen kannalta tehokkain tietyn henkilö- tai tavaramäärän kuljettamisessa yhdestä paikasta toiseen.

Tulokset tuovat uutta näkökulmaa liikenneratkaisujen suunnitteluun. Rakentamisella voidaan vaikuttaa käytönaikaiseen energiankulutukseen. Päästöihin vaikuttavat esimerkiksi valaistusratkaisut, radan sähköistäminen ja rakentamisessa käytetyt työkalut. Myös erilaisilla paikallisilla energiantuotantoratkaisuilla voi olla suurikin merkitys esimerkiksi ratapihojen ja satamien päästöihin. Selvityksessä on myös tunnistettu, mistä päästöt syntyvät erilaisten infrastruktuurien rakentamisen, käytön ja kunnossapidon aikana. Tämä mahdollistaa aiempaa syvemmän tarkastelun eri liikenneratkaisujen elinkaariensa aikana aiheuttamiin päästöihin. Laskentatyökalut, jotka tämän hankkeen yhteydessä on luotu, ovat ensimmäinen askel siihen suuntaan, että liikenneinfrastruktuurin suunnittelussa voidaan ottaa huomioon myös infrastruktuurin hiilidioksidipäästöt.

Hankkeen tulokset tarjoavat myös uuden lähtökohdan sille, miten liikenteen päästöjen vähentämistä kannattaa priorisoida. Jos rautatieliikenne pystyy palvelemaan tietyn välin liikkumistarvetta, on tämä huomattavasti tieliikennettä ilmastotehokkaampi vaihtoehto. Vaikka liikennesuunnittelussa otetaan huomioon monia muitakin tekijöitä ja perinteisesti näitä on painotettu enemmän kuin hiili-intensiivisyyttä, tämän selvityksen tulokset tukevat elinkaaripäästöjen ottamista aiempaa paremmin huomioon.

Tämän selvityksen ja koko hankkeen tulokset ovat suuntaa-antavia. Puutteellisten lähtötietojen ja tilastojen vuoksi on jouduttu tekemään paljon oletuksia ja arvioita. Tulosten avulla voidaan kuitenkin hahmottaa suuruusluokkia päästöjen muodostumisesta eri kulkumuotojen vertailussa. Tulevaisuudessa hiilijalanjälkilaskenta on todennäköisesti mahdollista tehdä paljon tarkemmalla tasolla, sillä uusissa rakennus- ja kunnossapitohankkeissa tietoja raportoidaan entistä kattavammin (esim. Kerava-Lahti-oikoradan ja Vuosaaren sataman rakentaminen).

Lähteet

Asikainen, 2011: Asikainen, Anu, VR Track Oy, henkilökohtainen tiedonanto (marraskuu 2011)

Botniabanan Ab, 2010: Environmental Product Declaration for the railway infrastructure on the Bothnia Line, Reg. no. S-P-00196, UN CPC 53212, Date 2010-03-19

BSI, 2008: Publically available specification, PAS 2050:2008, Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services, www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050/ (katsottu viimeksi 3.1.2012)

Hagström et al., 2011: Hagström, Markku, Illman, Julia, Pesola, Aki, Vanhanen, Juha, Gilbert, Ylva, Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 38/2011.

Heikkonen, 2008: Heikkonen, Mauri (toim.), Vuosaaren satama ja ympäristö: suunnittelusta rakentamiseen. Vuosaaren satamahanke, saatavilla: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/vuosaaren_satama_ja_ymparisto.pdf (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Holm, 2011: Holm, Olli, Liikennevirasto, useita henkilökohtaisia tiedonantoja, lokakuu-joulukuu 2011.

Kautonen, 2011: Kautonen, Joni, Rakentamisen mittaukset Vuosaaren Satamatyömaalla, insinööritö, Metropolia Ammattikorkeakoulu, saatavilla: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/32690/JoniKautonen_insinoorityo_Packed.pdf?sequence=1 (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Kiirikki ja Lindfors, 2006: Kiirikki, Mikko, Lindfors, Antti, Vuosaaren sataman hiekanoton aiheuttama veden samentuminen ja sameuden leviäminen työkohteiden ympäristössä syksyllä 2006, Luode Consulting Oy, 2006.

Kärkkäinen, 2011: Kärkkäinen, Otso, Liikennevirasto, henkilökohtainen tiedonanto, marraskuu 2011.

Lahtinen, 2010: Lahtinen, Markus, Hyvän elinympäristön rakentaja, YIT Infrapalvelut, saatavilla: <http://files.kotisivukone.com/biolaitosyhdistys.palvelee.fi/tiedostot/2011seminaari/lahtinen.pdf> (katsottu viimeksi, 5.1.2012)

Lane, 2007: Lane, Thomas, Our Dark Materials, Embodied Energy, Building Magazine 9.11.2007.

Liikennevirasto, 2011a: Liikennevirasto, Vuosaaren Väyläkortti 14.11.2011, saatavilla: http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/ff/ammattiliikenteen_palvelut/liikkuminen_vesivaytilla/vaylakortti/Vaylakortti_Vuosaari_o.pdf (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Liikennevirasto, 2011b: Liikennevirasto, Länsisataman Väyläkortti 13.12.2011, saatavilla: http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/ammattiliikenteen_palvelut/liikkuinen_vesivaytila/vaylakortti/V%E4yl%E4kortti_Helsingin%20L%E4nsisataman%20v%E4yl%E4_o.pdf (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Liikennevirasto, 2011c: Liikennevirasto, Satamien ulkomaan tavaraliikenne tavararyhmittäin, 2010, tilasto päivitetty 18.3.2011: saatavilla: http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/liikennevirasto/tilastot/liikennemaarat/ulkomaan_meriliikenne/mlt_ta_satamat_tavarat.htm (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Liikennevirasto, 2011d: Liikennevirasto, Kotimaan tavaraliikenne aluksilla satamittain tavararyhmittäin, 2010, tilasto päivitetty 7.3.2011: saatavilla: http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/liikennevirasto/tilastot/liikennemaarat/kotimaan_vesiliikenne/kot_tavararyhmat_satamittain.htm (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Liikennevirasto, 2011e: Liikenneviraston internet sivut, saatavilla: <http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/liikenneverkko/liikennejarjestelma/tavaraliikenne> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Liikennevirasto, 2011f: Liikennevirasto, Tietilasto 2010, Liikenneviraston tilastoja 6/2011, saatavilla: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti_2011-06_tietilasto_2010_web.pdf (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Liikennevirasto, 2011g: Liikennevirasto, Suomen rautatietilasto 2010, Liikenneviraston tilastoja 5/2011, saatavilla: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti_2011-05_suomen_rautatietilasto_web.pdf (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Lindqvist et al., 2005: Lindqvist Aino, Lettenmeier, Michael, Saari, Arto, Meriliikenteen aiheuttama luonnonvarojen kulutus (MeriMIPS), Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 58/2005, saatavilla http://www.lvm.fi/files/Julkaisuja%2058_2005.pdf (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Los Angeles, 2005: Port of Los Angeles, Inventory of Air Emissions 2005, saatavilla: http://www.portoflosangeles.org/DOC/2005_Air_Emissions_Inventory_Full_Doc.pdf (katsottu viimeksi 5.1.2012)

LVM, 2010: Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009–2020, Seuranta 2010. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 28/2010. Saatavilla: http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=964900&name=DLFE-11121.pdf&title=Julkaisuja%2028-2010 (katsottu viimeksi 3.1.2012)

Länsi-Suomen ympäristölupavirasto, 2009: Länsi-Suomen ympäristölupavirasto, Päättös Nro 43/2009/2, Dnro LSY-2008-Y-178, saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=104278&lan=sv> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Marttila, 2011: Marttila, Harri, Sjöman Helsingin Nosturit Oy, henkilökohtainen tiedonanto, joulukuu 2011.

MEERI, 2010: VTT LIPASTO, MEERI 2010 –vesiliikenteen laskentajärjestelmä, saatavilla: <http://www.lipasto.vtt.fi/meeri/index.htm> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Naantalin satama, 2010: Naantalin satama, Vuosikertomus 2010, saatavilla:
http://www.e-julkaisu.fi/naantalin_satama/vuosikertomus2010/pdf/naantalin_satama_vsk_2010_200dpi.pdf (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Naukkarinen, 2010: Naukkarinen, Mia, Kauppamerenkulun ja muun hyötyliikenteen vesiväylät maakuntakaavoituksessa: nykytila ja kehitysmahdollisuudet Liikenneviraston näkökulmasta, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 30/2010, saatavilla:
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2010-30_kauppamerenkulun_ja_web.pdf (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Penttinen, 2011: Penttinen, Olli, Liikennevirasto, henkilökohtainen tiedonanto (marraskuu 2011)

Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto, 2007: Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto, Ympäristölupapäätös Nro 13/07/2, Dnro Psy-2003-y-188, saatavilla:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=62422&lan=fi> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Procam tuotanto Oy, 2009: Procam tuotanto Oy, Vuosaaren satamahanke 2003-2008, video.

Pusenius et al., 2005: Pusenius, Kaisa, Lettenmeier, Michael, Saari, Arto, Luonnonvarojen kulutus Suomen tieliikenteessä (TieMIPS), Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 54/2005 saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=25611&lan=fi> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Raahen satama, 2011: Raahen satama, Raahen väylän syventäminen ja syvälaiturin rakentaminen, saatavilla: <http://www.portofraahe.fi/index.asp> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Raahen seutu ja Raahelainen, 2009: Raahen seutu ja Raahelainen, Raahen suurin pysy aikataulussa, uutinen päivitetty 3.7.2009, julkaistu 29.6.2009, saatavilla:
<http://www.raahenseutu.fi/Uutiset/1194621729108/artikkeli/raahen+suurin+pysyy+aikataulussa.html> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Rala ry, 2011: Rala ry, Referenssiyhteenvedo / Terramare Oy, saatavilla:
http://intra.rala.fi/rala/referenssit.phtml?yritys_id=100816 (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Ruukki Oyj, 2011: Ruukki Oyj, Lyötävät RR-suurpaalut, saatavilla:
<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Infrastruktuuriratkaisut/Teraspaalut/Driven-RR-large-diameter-pile/#> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Satamaliitto, 2010: Satamaliiton tilastot, tekniset tiedot 2010, saatavilla:
<http://www.finnports.com/fin/tilastot/?stats=yearly> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Stenvall, 2011: Stenvall, Vesa, VR Yhtymä Oy, useita henkilökohtaisia tiedonantoja, marraskuu-joulukuu 2011

Stripple, 2001: Stripple, Håkan, Life Cycle Assessment of Road – A Pilot Study for Inventory Analysis, 2001

Talvinen, 2009: Talvinen, Toni, Satamalaiturirakenteiden teknistaloudellinen tarkastelu, diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, 2009.

Tarnanen-Sariola, 2011: Tarnanen-Sariola, Kirsti, Satamaliitto, henkilökohtainen tiedonanto, joulukuu 2011.

TEM, 2011: Työ- ja elinkeinoministeriö, Energiatehokkuus julkisissa hankinnoissa, Työ- ja elinkeinoministeriön ohjeet, 2011, saatavilla:
<http://www.tem.fi/files/30410/Energiatehokkuus.pdf> (katsottu viimeksi, 5.1.2012)

Terramare Oy, 2009: Terramare Oy, Vuosaaren satamakeskuksen vesirakennusurakat, projektiesite 2003-2008, saatavilla:
<http://www.terramare.fi/index.php/fi/projektit/vesirakennustyoet-kotimaassa> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Terramare Oy, 2011: Terramare Oy:n internet sivut, saatavilla: <http://www.terramare.fi> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Tilastokeskus, 2010: Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut [verkköjulkaisu]. ISSN=1797-6049. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavilla:
<http://www.stat.fi/til/khki/index.html> (katsottu viimeksi, 5.1.2012).

Tilastokeskus, 2009: Tilastokeskus, Energiatilasto vuosikirja 2009, Suomen virallinen tilasto, Helsinki 2010.

Tilastokeskus, 2011: Suomen virallinen tilasto (SVT): Moottoriajoneuvokanta [verkköjulkaisu]. ISSN=1798-856X. Helsinki: Tilastokeskus, saatavilla:
<http://www.stat.fi/til/mkan/index.html> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Tompuri, 2009: Tompuri, Vesa, Vuosaari aluetyöt, Projektiiutiset 1/2009, saatavilla:
<http://www.projektiiutiset.fi/fi/artikkelit/vuosaari-aluety%C3%B6t?page=0%2C0> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Tuomola, 2011: Tuomola, Eve, Helsingin satama, henkilökohtainen tiedonanto, joulukuu 2011.

Turun satama, 2007: Turun satama, Ympäristöraportti 2007, saatavilla:
http://www.port.turku.fi/files/attachments/Julkaisut/turunsatama_ymrap07.pdf (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Uudenmaan liitto, 2007: Uudenmaan liitto, Uudenmaan liikenteen varikot ja terminaalit – nykytila ja tarvekartoitus, Uudenmaan 1. vaihemaakuntakaavan selvityksiä, Uudenmaan liiton julkaisuja E 86 – 2007, saatavilla:
<http://www.uudenmaanliitto.fi/?isbnSearch=&nameSearch=Uudenmaan+liikenteen+varikot&publishid=337&s=76&selectedSerie=&selectedYear=#selectedPublication> (katsottu viimeksi, 5.1.2012)

Uudenmaan ympäristökeskus, 2004: Uudenmaan ympäristökeskus, Ympäristölupapäätös No YS 1261, Dnro UUS-2004-Y-297-111, saatavilla
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=25611&lan=fi> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Valkeisenmäki et al., 2008: Valkeisenmäki, Aarno, Eskola, Paula, Nousiainen, Antero Antila, Raimo, Mutanen, Erja, Kotilainen, Kari, Tienrakennuksen ekotehokkuuden parantaminen, Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 39/2008, saatavilla:
http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/4000637-v-tierakenn_ekotehokk_parant.pdf (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Virtanen, 2011: Virtanen, Seppo, Meritaito Oy, henkilökohtainen tiedonanto joulukuu, 2011.

VTT, 2009: VTT LIPASTO, saatavilla: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/index.htm> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

VR, 2011: VR, internet sivut, <http://www.vr-konserni.fi/fi/index/ymparisto.html> (katsottu viimeksi 4.1.2012)

Vuorivirta, 2011: Vuorivirta, Kaarina, Helsingin Satama, useita henkilökohtaisia tiedonantoja, joulukuu 2011.

Yletyinen, 2011: Yletyinen, Jarmo, Terramare Oy, useita henkilökohtaisia tiedonantoja, marraskuu-joulukuu 2011.

Öljyalan Keskusliitto, 2010: Öljyalan Keskusliitto, Huoltoasemat, saatavilla: <http://www.oil.fi/?m=charts&id=224?=fi> (katsottu viimeksi 5.1.2012)

Laskennassa käytetyt päästökertoimet

ENERGIA		LÄHDE
Suomen sähköntuotanto, keskiarvo	260 gCO ₂ /kWh	Tilastokeskus, 2004-2008 keskiarvo (ei huomioida sähkön nettotuontia)
Suomen lämmöntuotanto, keskiarvo	210 gCO ₂ /kWh	Tilastokeskus, 2004-2008 keskiarvo
Diesel	2 646 gCO ₂ /l	Tilastokeskus, Energiatilasto Vuosikirja 2009
TYÖKONEET		LÄHDE
Kuormaaja (maa-aineksen vaikeusasteen mukaan)		Strippel, 2011: Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Volvo BM L180
- helppo	0,0442l/m ³	
- melko helppo	0,0489l/m ³	
- melko vaikea	0,0854l/m ³	
- vaikea	0,0946l/m ³	
Kaivuri (maa-aineksen vaikeusasteen mukaan)		Strippel, 2011: Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Åkerman EC620
- helppo	0,0760l/m ³	
- melko helppo	0,0790l/m ³	
- melko vaikea	0,0940l/m ³	
- vaikea	0,1130l/m ³	
Maansiirtoauto	838 gCO ₂ /km	VTT LIPASTO, maansiirtoauto, kantavuus 19 t, keskiarvo vuodelle 2009
Dumpperi	0,193 l/m ³ /km	Strippel, 2011: Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Volvo BM A35
Täysperävaunuyhdistelmä (kuorma-auto)	1 116 gCO ₂ /km	VTT LIPASTO, täysperävaunuyhdistelmä, kantavuus 40 t
Murskaus	1 420 gCO ₂ /t	Strippel, 2011: Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis.
Pyörintäsäiliöpumppu (diesel)	0,3125l/m ³	12,50 l/h, 40 m ³ /h. Conjust Oy, Petri Mäkeläinen, henkilökohtainen tiedonanto 30.11.2010
Maajyrä	0,0169l/m ²	Strippel, 2011: Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Dynapac CA 251D
Asfalttijyrä	0,018 l/m ²	Strippel, 2011: Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Dynapac CC 211
Asfaltinlevittäjä	0,020 l/m ²	Strippel, 2011: Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Dynapac F12
Nosturi	20 901gCO ₂ /h	VTT LIPASTO, nosturit, kuormitusaste (0,26) ja nimellisteho (99 kW) huomioitu
Syvätiivistyskalusto	1,5 l/m ²	Harri Marttila, Sjöman, henkilökohtainen tiedonanto 28.12.2011

Vesirakentamisen kalusto

Nordic Giant	0,8 l/m ³	Jarmo Yletyinen, Terramare Oy, henkilökohtainen tiedonanto 28.10.2011
Koura	1,2 l/m ³	Jarmo Yletyinen, Terramare Oy, henkilökohtainen tiedonanto 28.10.2011
Kuokka-Pekka 2	1,4 l/m ³	Jarmo Yletyinen, Terramare Oy, henkilökohtainen tiedonanto 28.10.2011
Keskiarvo ruoppauskoneista	1,1 l/m ³	Gaian laskenta
Itsekulkevat proomut	10 l/km	Jarmo Yletyinen, Terramare Oy, henkilökohtainen tiedonanto 28.10.2011
TBT-ruoppaus	0,90 l/m ²	Jarmo Yletyinen, Terramare Oy, henkilökohtainen tiedonanto 17.11.2011
Vedenalainen louhinta: Rockbuster-lautta	1,5 l/m ³	Jarmo Yletyinen, Terramare Oy, henkilökohtainen tiedonanto 17.11.2011
Nosturilautta Nosto-Pekka	6,7 l/m ³	Jarmo Yletyinen, Terramare Oy, henkilökohtainen tiedonanto 5.12.2011
Meri-Pekka + Junttan paalutusvarustus	21,3 l/paalumetri	Jarmo Yletyinen, Terramare Oy, henkilökohtainen tiedonanto 5.12.2011
Hinaaja, Spark	1,2 l/t/km	Jarmo Yletyinen, Terramare Oy, henkilökohtainen tiedonanto 5.12.2011
Liukuvalukalusto	1,2 l/m ³	Jarmo Yletyinen, Terramare Oy, henkilökohtainen tiedonanto 5.12.2011
Vedenalainen syvätiivistyskalusto	3,0 l/m ²	Harri Marttila, Sjöman, henkilökohtainen tiedonanto 28.12.2011

MATERIAALIT**LÄHDE**

Betoni	170 gCO ₂ e/kg	Korkiala-Tanttu et al., 2006: Väylärakentamisen ympäristövaikutukset ja ekoindikaattorit
Polypropyleeni	1 100 gCO ₂ e/kg	CPM LCA Database
Sementti	806 gCO ₂ e/kg	Korkiala-Tanttu et al., 2006: Väylärakentamisen ympäristövaikutukset ja ekoindikaattorit
Teräs	1 000 gCO ₂ e/kg	CPM LCA Database, Ecoinvent, Ruukki Oyj:n ympäristöselosteita eri terästuotteille
Luonnonhiekk	4,94 gCO ₂ e/kg	CPM LCA Database
Bitumi	173 gCO ₂ e/kg	Strippel, 2011: Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis.
Kalkki	750 gCO ₂ e/kg	http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_2_Ch2_Mineral_Industry.pdf
Polyeteeni	1 966 gCO ₂ e/kg	Swiss Centre for Life Cycle Inventories, ecoinvent database v2.1 (2009): polyethylene, mix
PVC-muovi	1 944 gCO ₂ /kg	CPM LCA Database

Satamien ja väylien luokittelu

Satama	Tuloväylän pituus ^a (km)	Sataman maa-alue ^a (ha)	Tava- raliikenne tuonti + vientib (t)	Tavararyhmät ^b (%)			Matkustaja- liikenne ^c (hlö)	Satamatyyppi
				Irtolasti	Nestebulk	Kpl/ykstavara		
Koverhar	1,5	50 ^d	1 337 126	100 %	0 %	0 %	0	Irtolasti
Raahe	26	70	6 202 764	96 %	4 %	0 %	0	Irtolasti
Loviisa	21	40	1 147 860	99 %	0 %	1 %	7 734	Irtolasti
Kantvik	30	20 ^d	472 490	99 %	0 %	1 %	0	Irtolasti
Tornio	27	19	1 964 058	95 %	5 %	0 %	0	Irtolasti
Inkoo	34	126	1 338 602	93 %	7 %	0 %	0	Irtolasti
Kemi	40	305	2 195 693	78 %	21 %	1 %	13 125	Irtolasti
Kokkola	22	265	6 339 443	84 %	16 %	1 %	0	Irtolasti
Kaskinen	15	32	1 073 883	87 %	9 %	4 %	0	Irtolasti
Uusikaupunki	43	14	1 204 265	87 %	13 %	0 %	0	Irtolasti
Pori	12	62	4 984 850	80 %	17 %	3 %	0	Irtolasti
Pietarsaari	12	61	1 657 695	83 %	10 %	6 %	0	Irtolasti
Vaasa	45	52	1 395 851	56 %	32 %	13 %	67 810	Irtolasti
Rauma	26	115	5 696 144	78 %	4 %	17 %	0	Irtolasti
Kotka	51	638	11 301 864	80 %	6 %	14 %	55 876	Irtolasti
Hanko	17	141	3 579 206	74 %	5 %	21 %	11 049	Irtolasti
Oulu	65	171	3 601 060	54 %	45 %	1 %	0	Irtolasti/Nestebulk
HKI – Vuosaari	32	150	7 285 000	0 %	0 %	100 %	951 711	Kpl/ykstavara

Satama	Tuloväylän pituus ^a (km)	Sataman maa-alue ^a (ha)	Tava- raliikenne tuonti + vientib (t)	Tavararyhmät ^b (%)			Matkustaja- liikenne ^c (hlö)	Satamatyyppi
				Irtolasti	Nestebulk	Kpl/ykstavara		
Turku	16	225	2 955 980	26 %	12 %	62 %	3 044 947	Kpl/ykstavara
HKI – Länsiterminaali	24	24	1 734 000	0 %	0 %	100 %	5 494 711	Matkustajasatama
HKI – Katajanokka	N/A	64 ^e	789 870 ^f	0 %	0 %	100 %	960 711	Matkustajasatama
HKI – Eteläsatama	N/A	64 ^e	1 131 000	0 %	0 %	100 %	5 168 711	Matkustajasatama
Maarianhamina	11	40 ^d	135 240	63 %	2 %	35 %	3 382 898	Matkustajasatama
Kilpilahti	38	100 ^d	20 544 871	1 %	99 %	0 %	0	Nestebulk
Hamina	62	371	4 510 970	31 %	58 %	11 %	5 524	Nestebulk
Naantali	127	24	8 107 982	15 %	58 %	27 %	358 439	Nestebulk
Yhteensä			102 687 767				19 523 246	

^a Tuloväylien pituus ja satamien maa-alueet ovat peräisin Satamaliiton tilastosta vuodelta 2010, Tekniset tiedot.

^b Tavaraliikenteen määrät ja sen jakautuminen tavararyhmiin on laskettu perustuen Liikenneviraston tilastoihin ulkomaan ja kotimaan vienti ja tuonti määristä tavararyhmälajeittain.

^c Matkustajaliikenteen määrät perustuvat Liikenneviraston tilastoihin ulkomaan ja kotimaan saapuvista ja lähtevistä matkustajamääristä. Kotimaan matkustajamääriä ei eritelty satamittain, nämä arvioitiin perustuen kotimaan matkustajaliikennettä havainnollistavaan karttaan (saatavilla osoitteesta: http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/liikennevirasto/tilastot/liikennemaarat/kotimaan_vesiliikenne/kotimaan_vesiliikennetilasto_matkustajat_2010.pdf)

^d Sataman maa-alueet on arvioitu perustuen samassa luokituksessa olevien satamien maa-alueiden kokoon ottaen huomioon myös liikennemäärät

^e Tilastoissa Helsingin Sataman tiedot on esitetty yhtenä kokonaisuutena. Case-kohteista pyydettiin erittely suoraan Helsingin Satamalta, muiden Helsingin satamien satama-alueiden koot on laskettu vähentäen Helsingin sataman kokonaispinta-alasta case-kohteiden pinta-alat, ja oletettu että tämä jakautuu tasan Katajanokan ja Eteläsataman välillä.

^f Tilastoissa Helsingin Sataman tiedot on esitetty yhtenä kokonaisuutena. Katajanokkaa lukuun ottamatta satamista saatiin erittely tavaraliikenteen osalta, Katajanokan tavaraliikenne laskettiin vähentämällä Helsingin sataman kokonaistavaramäärästä muiden satamien osuudet

